

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

ESSAI DE 3^E CYCLE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DU DOCTORAT EN PSYCHOLOGIE
(PROFIL INTERVENTION)

PAR
LAURENCE JACOB

VALIDATION CONCOMITANTE D'AVATARS EXPRIMANT DES ÉMOTIONS À
L'AIDE DE L'ÉLECTROMYOGRAPHIE ET DE LA POURSUITE OCULAIRE

JUIN 2017

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

Cet essai de 3^e cycle a été dirigé par :

Christian Joyal, Ph.D., directeur de recherche

Université du Québec à Trois-Rivières

Jury d'évaluation de l'essai :

Christian Joyal, Ph.D.

Université du Québec à Trois-Rivières

Pierre Nolin, Ph.D.

Université du Québec à Trois-Rivières

Daniel Fiset, Ph.D.

Université du Québec en Outaouais

Ce document est rédigé sous la forme d'articles scientifiques, tel qu'il est stipulé dans les règlements des études de cycles supérieurs (138) de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Le (les) article(s) a (ont) été rédigé(s) selon les normes de publication de revues reconnues et approuvées par le Comité d'études de cycles supérieurs en psychologie. Le nom du directeur de recherche pourrait donc apparaître comme co-auteur de l'article soumis pour publication.

Sommaire

Une bonne reconnaissance des émotions exprimées par autrui est cruciale pour l'édification des habiletés sociales et le maintien de relations interpersonnelles harmonieuses (Lakin & Chartrand, 2003). Différentes populations cliniques ayant des difficultés de reconnaissance des émotions et des problèmes de cognition sociale pourraient grandement bénéficier d'entraînements en réalité virtuelle à l'aide d'avatars exprimant des émotions à divers degrés d'intensité. C'est dans cette perspective que s'inscrit ce projet de validation d'un ensemble d'avatars virtuels. La reconnaissance des expressions faciales des six émotions universelles (colère, joie, peur, surprise, tristesse et dégoût) a fait l'objet d'un grand nombre d'études depuis les années 70. Ces expressions faciales sont universellement reconnues par tous les humains en santé, peu importe leur milieu socioculturel (Ekman & Oster, 1979). En outre, le visionnement de ces expressions faciales engendre une réponse musculaire faciale similaire chez l'individu qui les exprime et celui qui les observe (Dimberg, 1982; Sato & Yoshikawa, 2007). Plus récemment, un nombre croissant d'études portant sur la reconnaissance faciale des émotions a tiré profit de la réalité virtuelle (Dyck et al., 2008; Dyck, Winbeck, Leiberg, Chen, & Mathiak, 2010; Garau, Slater, Bee, & Sasse, 2001; Likowski, Mühlberger, Seibt, Pauli, & Weyers, 2008; Weyers, Mühlberger, Kund, Hess, & Pauli, 2009). Cette technologie permet de présenter des avatars (personnages virtuels) faits sur mesure pour évaluer et comparer les taux de reconnaissance en fonction de différents paramètres déterminés par l'expérimentateur. Toutefois, selon la recension des écrits scientifiques, aucune de

ces études n'a utilisé des stimuli dynamiques. Afin d'atteindre l'objectif ultime de créer une interface cerveau-machine qui réagira à l'utilisateur en temps réel en fonction de ses réactions faciales et cérébrales, il est primordial d'utiliser des avatars exprimant des émotions faciales de façon graduelle et dynamique. L'objectif principal de la présente étude était de valider, auprès d'une population générale, un jeu d'avatars dynamiques en comparant leur reconnaissance à celle de stimuli réels et dynamiques obtenus par la fusion (*morphing*) des *Pictures of Facial Affect* (Ekman & Friesen, 1976). Trois types de mesure ont été utilisés afin de vérifier si les expressions des avatars sont aussi bien reconnues que celles des gens réels : le taux de reconnaissance des expressions faciales (%), le temps de fixation oculaire sur les commissures faciales (%) et les niveaux moyens d'activation des deux principaux muscles faciaux impliqués dans l'expression émotionnelle, soit le corrugator et le zygomate (mV). Cette expérimentation a été conduite auprès de 41 adultes recrutés parmi la population générale, dont 20 hommes et 21 femmes (âge moyen : 24,7, $\acute{E}T = 9,2$; nombre moyen d'années de scolarité : 15,2; $\acute{E}T = 2,5$). Des analyses de variance univariées ont été conduites afin de comparer les réponses des participants, la poursuite oculaire et l'électromyographie, ainsi qu'un test d'égalité de deux médianes par le khi carré (χ^2) afin d'évaluer l'ampleur des différences entre le taux de reconnaissance des différentes expressions faciales selon le genre. Les résultats appuient l'hypothèse principale voulant que le jeu d'avatars soit suffisamment réaliste pour qu'aucune différence significative ne ressorte des données, indiquant que les participants réagissent de façon similaire face aux stimuli

dynamiques réels et virtuels. Cet essai doctoral représente une amorce pour des études ultérieures portant sur l'interaction cerveau-machine et la réalité virtuelle.

Table des matières

Sommaire	iv
Liste des tableaux.....	ix
Liste des figures	x
Remerciements.....	xi
Chapitre 1. Introduction générale	1
Émotions	3
Expression et reconnaissance	5
Problématiques cliniques et cognition sociale.....	7
Techniques permettant la mesure de l'expression des émotions faciales.....	9
Électromyographie.....	10
Poursuite oculaire	12
Stimuli réels	14
Réalité virtuelle.....	17
Avatars	18
Apport de la réalité virtuelle	19
Cadre de la recherche	22
Objectifs et hypothèses	23
Chapitre 2. Virtual face expressing emotions: An initial concomitant and construct validity study.....	25
Summary	27
Introduction.....	28
Materials and methods	30

Participants	30
Materials and measures.....	30
Statistical analyses	32
Ethical consideration	32
Results.....	32
Discussion	35
Author note	36
Conflict of interest statement.....	36
References.....	37
Chapitre 3. Conclusion générale	42
Forces et limites de l'étude	45
Retombées et perspectives pour les recherches futures	49
Références générales.....	51
Appendice. Normes de publication de la revue <i>Frontiers in Human Neuroscience</i>	61

Liste des tableaux

Tableau

- 1 Comparisons of recognition rates (%) between real and virtual facial expressions of emotions33
- 2 Comparisons of mean (SD) facial muscle activations during presentations of real and virtual stimuli expressing the basic emotions.....34
- 3 Comparisons of mean (SD) duration (ms) of gaze fixations during presentations of real and virtual stimuli expressing the basic emotions.....35

Liste des figures

Liste des figures dans l'essai :

Figure

- 1 Corrugator supercilii et zygomaticus major 11
- 2 Avatar exprimant de la colère..... 22


Liste des figures dans le Chapitre 2 :

Figure

- 1 Examples of 100% expression (sadness) by real and virtual stimuli are shown 31
- 2 Example of a sequence from neutral to 100% expression (anger) from a computer-generated face is shown..... 31
- 3 Example of eye-tracking data (regional gaze fixations) on real and virtual stimuli is shown..... 32

Remerciements

Je désire exprimer mes plus sincères remerciements à mon directeur, monsieur Christian Joyal, Ph.D., professeur au Département de psychologie de l'Université du Québec à Trois-Rivières, pour sa précieuse collaboration, ses judicieux conseils ainsi que sa motivation inextinguible tout au long du parcours. Je tiens à lui offrir toute ma reconnaissance pour sa confiance et son expertise m'ayant permis de mener à bien ce projet ainsi que pour son accompagnement ayant débuté bien avant l'amorce de mes études doctorales. Je tiens également à transmettre mes remerciements au Centre international de criminologie comparée (CICC) pour les bourses offertes qui auront rendu la réalisation de cette étude possible. Je remercie également l'Université du Québec à Trois-Rivières pour l'accueil et le soutien tout au long de ma formation. Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers ma famille pour leurs précieux soutiens, conseils et encouragements. À mes collègues et amis, un simple merci d'avoir partagé ces quatre années qui auront été fortement marquées par votre présence. C'est avec plaisir que je verrai nos chemins se croiser à nouveau dans les années futures.



Chapitre 1

Introduction générale

L'évaluation de la capacité de reconnaissance des expressions faciales peut être fort utile en psychiatrie car des troubles de la cognition sociale sont souvent suspectés mais difficiles à mesurer. Une telle évaluation permettrait d'obtenir des informations sur le niveau de compréhension des émotions d'autrui d'une personne donnée, ainsi que les stratégies qu'elle emploie pour décoder ces émotions (p. ex., endroits sur le visage où le regard se focalise). L'évaluation de la capacité de reconnaissance permettrait donc de confirmer, ou infirmer, la présence de problèmes de cognition sociale et d'identifier une part importante de leur étiologie. En outre, il serait utile de fournir aux cliniciens des outils d'évaluation simples et accessibles basés sur l'utilisation de la réalité virtuelle. L'idéal serait de fournir également des outils de traitement, notamment basés sur les interfaces humain-machines, où le milieu virtuel se modifie en fonction de données psychophysiologiques de l'individu (Renaud et al., 2011). La réalité virtuelle pourrait permettre de créer des personnages adaptés aux besoins d'une problématique ou d'un individu, à faibles coûts, et d'adapter différents types d'interactions sociales avec des patients dans tout milieu de pratique (ordinateur portable et lunettes d'immersion). La réalité virtuelle pourrait offrir la possibilité, notamment, de créer des stimuli spécifiques à chaque patient tout en permettant le contrôle de plusieurs paramètres (intensité de l'expression, luminosité, grain de la peau, ethnie, etc.), contrairement à l'utilisation de stimuli réels qui rend plus complexes et fastidieuses de telles variations. La

possibilité de rétroaction avec la réalité virtuelle représente aussi un avantage indéniable pour le traitement de diverses populations cliniques (p. ex., *neurofeedback* où l'avatar agit en fonction du patron d'ondes cérébrales de la personne). Toutefois, pour développer de tels outils, il est primordial de développer et valider des avatars capables d'exprimer minimalement les six émotions fondamentales par le visage. Pour ce faire, deux instruments de mesure classiques ont été choisis pour ce type de validation : la poursuite oculaire et l'électromyographie faciale.

Émotions

Déjà en 1728, René Descartes échafaudait l'un des premiers traités sur les émotions : *Les Passions de l'âme*. Dans ce traité, il a identifié six émotions simples soit la haine, l'amour, l'admiration, la joie, le désir et la tristesse. Puis, en 1872, Darwin soulève le caractère inné et instinctif de la reconnaissance des expressions faciales d'émotions et sa signification évolutionniste (Darwin, 1965). Pour de nombreuses espèces, la reconnaissance et la production des expressions faciales représentent des moyens de communication complexes et rapides qui permettent de comprendre l'état d'autrui, d'inférer différentes informations quant à son comportement et à ses intentions, de s'adapter à celui-ci et à l'environnement et donc, de survivre. Six émotions fondamentales ont été identifiées, soit la joie, la peur, la tristesse, la colère, la surprise et le dégoût (Ekman & Oster, 1979). Les particularités morphologiques et musculaires associées à chaque expression,

relevées par la grille taxonomique *Facial Action Coding System (F.A.C.S.)* (Ekman & Friesen, 1977), permettent de relier chacune des émotions fondamentales à une expression faciale spécifique. Hors, certains auteurs remettent aujourd'hui en question l'inclusion de la surprise et du dégoût au sein des émotions fondamentales. En effet, il semble que la surprise serait plutôt une émotion complexe faisant intervenir conjointement les *F.A.C.S.* de la peur et de la joie. De plus, elle serait fréquemment confondue par d'autres cultures. Widen et Russell (2013) supportent que le dégoût ne serait pas reconnu, de façon innée, dès un bas âge comme le sont les autres émotions fondamentales. En effet, il semble plutôt que les enfants apprendraient activement à interpréter l'expression faciale associée à cette émotion.

Un siècle après qu'Ekman ait identifié six émotions fondamentales, il en démontrait l'universalité en faisant différentes expériences interculturelles. Ces émotions sont reconnues et utilisées par tous, peu importe l'origine ethnique ou culturelle des individus (Ekman, 1989). Il importe toutefois de mentionner qu'un débat, portant sur l'universalité des expressions faciales, est actif au sein de la communauté scientifique. En effet, certains résultats permettent de questionner celle-ci et révèlent que la culture façonnerait les représentations internes qu'ont les individus des expressions faciales les plus communes (Jack, Blais, Scheepers, Schyns, & Caldara, 2009; Jack, Caldara, & Schyns, 2012; Jack, Garrod, Yu, Caldara, & Schyns, 2012).

Expression et reconnaissance

L'expression et la reconnaissance des expressions émotionnelles faciales permettent non seulement la transmission à grande vitesse d'une quantité significative d'informations mais également, la régulation des comportements. En inférant l'état émotionnel d'autrui, il est possible de mettre en place une panoplie de comportements adaptés à la situation et à l'environnement, ainsi qu'à la relation interpersonnelle (Blair, 2003).

L'expression d'émotions sera émise, dans la majorité des cas, lorsqu'un stimulus émotionnel émerge dans l'environnement d'une personne et que des individus sont présents pour percevoir l'expression émotionnelle faciale. Toutefois, la production d'expressions faciales n'est pas exclusivement automatique. Les humains sont généralement capables de contrôler et de manipuler les démonstrations d'émotions en les inhibant ou non, notamment en fonction des normes sociales de l'environnement (Ekman & Friesen, 1981). Les régions cérébrales sous-corticales seraient impliquées dans l'expression émotionnelle faciale spontanée, alors que les régions corticales seraient davantage associées à la production contrôlée d'expressions (Rinn, 1984).

Il a donc été suggéré que la reconnaissance des expressions émotionnelles faciales est rendue possible grâce à deux voies neurologiques, soient la voie sous-corticale (*retinocollicular-pulvinar-amygdalar*) et la voie corticale (*retinogeniculostriate-extrastriate-fusiform*). La voie sous-corticale serait rapide et permettrait de transmettre,

de manière automatique, de l'information à propos de l'expression faciale émotionnelle à l'amygdale qui modulerait ensuite le traitement de l'information via la voie corticale. Cette dernière implique principalement les régions occipitale et temporale postérieure du cortex visuel (Adolphs, 2002). Un débat portant sur l'existence et l'importance de la voie de traitement sous-corticale des émotions a émergé entre certains auteurs. Pessoa et Adolphs (2010) soutiennent une vision traditionnelle corticocentrique et affirment que le rôle de la voie sous-corticale serait de soutenir la voie corticale lors de l'évaluation de la signification biologique de stimuli visuels affectifs. Toutefois, en réponse à l'article publié par ces derniers, de Gelder, van Honk, et Tamietto (2011) affirment qu'ils n'ont pas pris en compte l'entité des données et informations connues à ce jour.

Suite à une expression émotionnelle faciale, l'observateur pourra la reconnaître et apprendre rapidement les comportements ou les objets à adopter, approcher, ou éviter (p. ex., de la nourriture). Les informations permettant la modification rapide des comportements émis en fonction de l'environnement social et des règles sous-jacentes seront également apprises de cette façon. Ainsi, la reconnaissance des expressions faciales influence les capacités d'adaptation des individus et elle représente une composante importante dans le développement de la cognition sociale. L'incapacité d'interpréter correctement l'expression d'autrui peut mener à des difficultés de socialisation importantes et à l'impossibilité d'adopter des comportements sociaux appropriés et adaptés (Blair, 2003).

Problématiques cliniques et cognition sociale

Malgré l'universalité de l'expression et du traitement de l'expression des six émotions universelles, certains troubles psychopathologiques et neurodéveloppementaux peuvent occasionner divers déficits de reconnaissance des émotions. Ces déficits, à leur tour, entraînent des difficultés au plan du fonctionnement interpersonnel et social. Les personnes présentant des troubles envahissants du développement sont reconnues, notamment, pour présenter d'importants déficits de cet ordre (Anckarsäter, 2006; Constantino, Przybeck, Friesen, & Todd, 2000; Kaufmann et al., 2004; Krantz & McClannahan, 1998; Wehmeier, Schacht, & Barkley, 2010; Wing & Gould, 1979).

Un problème de reconnaissance des émotions d'autrui pourrait entraîner des perturbations importantes au niveau des habiletés de socialisation et pourrait, du moins partiellement, contribuer au maintien de certaines pathologies. On pense notamment aux troubles de la personnalité (Barbeau, Joubert, & Felician, 2009; Snowden, Craig, & Gray, 2013), aux personnes souffrant de dépression qui surévaluent des expressions de tristesse (Hastings, Tangney, & Stuewig, 2008), et aux difficultés notoires de reconnaissance des émotions d'autrui associées à l'autisme. Ces individus présenteraient un traitement perceptif atypique, utilisant des indices visuels différents de la population générale. Leur stratégie de balayage visuel, par exemple, met l'accent davantage sur la région de la bouche plutôt que sur la région des yeux, zone associée à une reconnaissance plus efficace. De plus, ils

privilégieraient les indices verbaux au détriment des indices visuels. Ils présentent donc des problèmes de reconnaissance des expressions faciales puisqu'ils ne perçoivent pas la valeur émotionnelle d'un visage et n'y portent donc pas d'attention particulière (Dapretto et al., 2005; Labruyère & Hubert, 2009). Des déficits de cognition sociale et de reconnaissance des émotions exprimées par autrui s'observent également chez les individus présentant un syndrome d'Asperger (Baron-Cohen, Wheelwright, Hill, Raste, & Plumb, 2001; Lindner & Rosén, 2006), un trouble de la personnalité antisociale (Dolan & Fullam, 2004) ou une schizophrénie (Addington, McCleary, & Munroe-Blum, 1998; Anckarsäter, 2006; Bediou et al., 2005; Huang et al., 2011; Jayaram et al., 2013; Kohler, Walker, Martin, Healey, & Moberg, 2009; Penn, Corrigan, Bentall, Racenstein, & Newman, 1997; Wolfkühler et al., 2012). Une hyposensibilité émotionnelle est associée au trouble bipolaire (Rich et al., 2008) et au trouble de personnalité limite (Domes, Schulze, & Herpertz, 2009; Robin et al., 2011), chez qui des émotions plus intenses seraient nécessaires afin de parvenir à une identification exacte des émotions exprimées. Les individus atteints de la maladie de Huntington, quant à eux, exhiberaient un déficit spécifique les empêchant de reconnaître efficacement le dégoût (Sprengelmeyer et al., 1996). Notons d'ailleurs que le dégoût est l'expression la plus difficile à reconnaître et à distinguer des émotions négatives (Ekman & Friesen, 1977).

Des atteintes neurologiques peuvent également entraîner des problèmes de cognition sociale. Par exemple, des dommages à l'amygdale sont associés à des difficultés dans l'identification de la peur (Adolphs et al., 2005; Calder, 1996). D'ailleurs, on observe une hypoactivation du circuit préfrontal et de l'amygdale chez des individus psychopathes (Anckarsäter, 2006). Une diminution de l'activité du gyrus fusiforme lors du traitement des émotions exprimant la joie et la peur a aussi été observée (Deeley et al., 2006).

Ces exemples cliniques suggèrent que des perturbations liées à la détection et à la reconnaissance des expressions émotionnelles d'autrui, menant à une compréhension déficiente, puissent compromettre la mise en place de comportements adaptatifs et, à plus long terme, conduire à des difficultés de socialisation. Le développement d'un outil d'évaluation et d'entraînement à la reconnaissance des expressions faciales des émotions est donc approprié.

Techniques permettant la mesure de l'expression des émotions faciales

Le développement de techniques d'analyse, comme le *F.A.C.S.* et l'utilisation de l'électromyographie (Ekman, 1993; Tassinari & Cacioppo, 1992), a permis de mesurer avec plus de précision la reconnaissance des émotions faciales. Plus récemment, un nouvel essor de ce type de recherche a pu être observé grâce à l'utilisation de modèles virtuels ou avatars (Garcia-Molina, Tsoneva, & Nijholt, 2013; Haag, Goronzy, Schaich, & Williams, 2004). Les avatars permettent au

chercheur ou au clinicien de présenter plusieurs types de personnages exprimant diverses émotions d'intensités variables. En outre, ils devraient permettre le développement de thérapies basées sur l'interaction cerveau-machine. C'est donc dans cette nouvelle vague que s'inscrit ce projet de recherche.

Électromyographie

L'électromyographie permet de mesurer le mimétisme facial avec précision (microvolts) et de quantifier la reconnaissance des émotions chez les participants. L'électromyographie mesure l'activité des muscles en amplifiant les influx électriques émis lors de leur contraction. Elle est très utile pour des études de reconnaissance émotionnelle puisque la présentation d'expressions faciales déclenche, chez des personnes en santé, une activité congruente au niveau des muscles du visage (Dimberg, 1982; Sato & Yoshikawa, 2007). Cela permet de créer des interactions sociales harmonieuses et de renforcer les liens interindividuels (Lakin & Chartrand, 2003).

Dimberg (1982) a démontré que la simple présentation d'une photo d'une expression faciale suffit pour activer certains muscles du visage. Ekman et Friesen (1976), pionniers de l'électromyographie faciale, suggéraient que les électrodes doivent être placées sur trois muscles spécifiques (*corrugator supercilii*, *zygomaticus major* et *orbicularis oculi*). Plusieurs recherches ont par la suite utilisé ces trois muscles ou différentes combinaisons de ceux-ci (Cacioppo, Petty, Losch, &

Kim, 1986; Hess & Blairy, 2001; Van Den Broek, Schut, Westerink, van Herk, & Tuinenbreijer, 2006). Cependant, le visage d'un individu exprime plusieurs émotions en n'activant que le *corrugator supercilii*, qui induit le froncement des sourcils, et le *zygomaticus major*, responsable de l'élévation et de l'abaissement des commissures de la bouche. Larsen, Norris et Cacioppo (2003) ont démontré que la mesure électromyographique de ces deux muscles est suffisante pour l'étude des émotions fondamentales puisqu'ils représentent la meilleure estimation d'émotions négatives et positives.

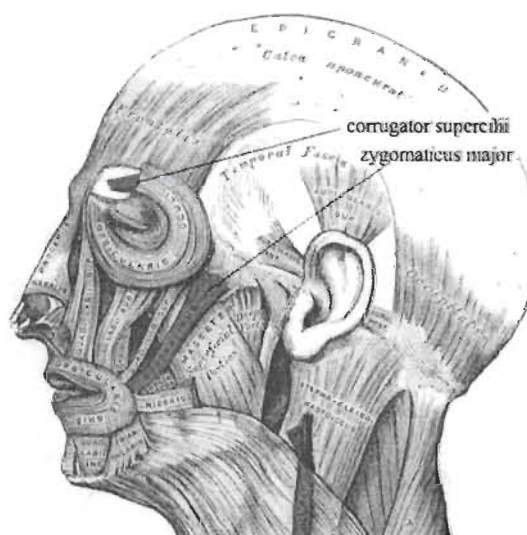


Figure 1. Corrugator supercilii et zygomaticus major.

Il a également été démontré qu'une activité musculaire peut se produire sans même que l'individu soit conscient de l'expression faciale spécifique qui lui est présentée (Dimberg & Petterson, 2000; Dimberg, Thunberg, & Grunedal, 2002). Ceci confirme la nature spontanée, inconsciente et automatique de la réponse musculaire aux expressions faciales émotionnelles d'autrui. Cependant, il est

possible que l'activation musculaire ne soit que de quelques microvolts, nécessitant l'utilisation de l'électromyographie pour la capter (Cacioppo et al., 1986; Dimberg et al., 2002).

De récents développements en neuroscience indiquent qu'il est possible que le mimétisme facial prenne naissance dans les aires motrices du cerveau en lien avec la communication et les interactions sociales. Il est alors question de neurones miroirs (Sato, Kochiyama, Yoshikawa, Naito, & Matsumura, 2004). Il est aussi suggéré que le mécanisme des neurones miroirs soit activé lorsque le cerveau traite l'expression faciale d'une émotion et que cette activation soit plus importante lorsqu'il s'agit d'un stimulus visuel dynamique (Sato & Yoshikawa, 2007). Ainsi, il est possible que les faibles activations musculaires recensées dans les études précédentes soient dues à la présentation de stimuli statiques et non dynamiques. Il est donc pertinent d'utiliser des stimuli virtuels dynamiques dans la mesure de la reconnaissance des émotions.

Poursuite oculaire

La poursuite oculaire est aussi une excellente approche pour évaluer les stratégies de reconnaissance des émotions. Elle permet de décrire les trajectoires oculaires d'une personne qui regarde un visage.

Selon Hall, Hutton et Morgan (2010), une attention accrue à la région entourant les yeux pourrait être liée à une reconnaissance supérieure. Ceux-ci ont utilisé des avatars statiques et ont confirmé la supériorité des femmes lors de tâches de reconnaissances des émotions, qui s'attardent plus sur les yeux de l'autre. Aussi, puisque la reconnaissance des émotions chez autrui est liée à la capacité d'empathie affective, il est attendu que les femmes démontrent une plus grande facilité dans ce domaine. De plus, l'étude conclut qu'une attention réduite au niveau des yeux peut être synonyme d'une reconnaissance plus faible (Hall et al., 2010). D'ailleurs, il semble que les individus atteints d'autisme aient tendance à regarder les différentes parties d'un visage de façon aléatoire, sans porter une attention particulière à la région des yeux ou de la bouche. Les temps de fixation respectifs aux commissures des yeux sont significativement plus faibles (Dalton et al., 2005) alors que le nombre de fixations sur des régions faciales non caractéristiques (régions autres que celles entourant les yeux, la bouche et le nasion) augmente significativement chez les personnes autistes comparativement aux différents groupes contrôle (Pelphrey et al., 2002). Les gens atteints de schizophrénie semblent aussi présenter une stratégie de poursuite oculaire particulière. En comparaison à une population non clinique, les personnes schizophrènes démontrent de plus longues et plus nombreuses fixations oculaires sur les différentes régions d'intérêt (Zhu et al., 2013). Le traitement est inefficace, mais aucune différence de stratégies de poursuite oculaire entre le groupe clinique et le groupe contrôle n'a pu être enregistrée. Il est donc possible de constater, chez ces deux différentes populations cliniques, un traitement perceptif

atypique qui suggère une utilisation des informations faciales qui diffère de celle de la population générale lors de l'analyse de contenu émotionnel complexe (Sasson et al., 2007). Un déficit de la reconnaissance des émotions, prenant naissance dans divers problèmes neurodéveloppementaux et neuropsychiatriques, pourrait alors être détecté grâce à la poursuite oculaire (Boraston & Blakemore, 2007).

Stimuli réels

La reconnaissance des émotions exprimées par autrui est essentielle aux interactions sociales cohérentes et adaptées (Lakin & Chartrand, 2003). Depuis plusieurs années, il a été établi que la présentation de photographies d'hommes et de femmes exprimant des émotions offre la possibilité d'évaluer cette capacité de reconnaître des expressions faciales émotionnelles (Ekman & Friesen, 1976). De nombreuses équipes de recherche ont utilisé des ensembles de stimuli statiques réels (p. ex., photographies d'hommes et de femmes exprimant une émotion) à cette fin.

D'abord, Beaupré et Hess (2005) ont élaboré le *Montreal Set of Facial Displays of Emotion* afin d'investiguer les différences culturelles pouvant affecter la précision de la reconnaissance ainsi que l'hypothèse d'avantage intragroupe (*in-group advantage hypothesis*) pour la reconnaissance émotionnelle au sein des groupes Africains, Chinois et Canadiens francophones habitant au Canada. Les stimuli créés à partir d'expressions faciales émises par quatre hommes et quatre femmes canadiens francophones, chinois et africains ont été sélectionnés afin de former l'ensemble de stimuli. Les données

recueillies par cette équipe de recherche n'appuient pas l'hypothèse d'un avantage intragroupe. Toutefois, des effets d'encodeur et de décodeur ont été trouvés. Les expressions de honte et de tristesse étaient reconnues plus précisément lorsqu'elles étaient démontrées par les Canadiens français alors que l'expression de peur l'était davantage lorsque des Africains l'exprimaient. Cela suggère qu'il existe un effet de saillance dû aux caractéristiques morphologiques lors de la reconnaissance d'expressions faciales émotionnelles. Par la suite, Goeleven, De Raedt, Leyman, et Verschuere (2008) ont conduit une étude de validation de 490 photographies d'expressions émotionnelles faciales provenant du *Karolinska Directed Emotional Faces Database (KDEF)*. Les photographies étaient évaluées selon leur contenu émotionnel et selon une échelle d'intensité et d'éveil (*arousal*). Les résultats ont indiqué qu'il s'agissait d'un ensemble valide de photographies d'expressions faciales émotionnelles. Tottenham et al. (2009) ont mis sur pied le *NimStim Set of Facial Expressions* afin de fournir des photographies d'expressions émotionnelles faciales pouvant être reconnues par des participants non entraînés. Cet ensemble de stimuli comprend une quantité importante de photographies multiraciales et est disponible en ligne pour la communauté scientifique. Les résultats psychométriques obtenus soutiennent la validité et la fidélité de cet ensemble; plus précisément, l'identification précise des expressions ainsi qu'un haut taux d'accord intra-participants lors de deux sessions d'évaluation. Tracy, Robins, et Schriber (2009) ont développé et validé un ensemble de photographies d'expressions faciales émotionnelles nommé *University of California, Davis, Set of Emotion Expressions (UCDSEE)*. Ces photographies de quatre individus, deux hommes et deux femmes

caucasiens et africains, exprimant les six émotions de base ainsi que l'embarras, la fierté et la honte ont été évalués grâce au *Facial Action Coding System (FACS)* et ensuite validés. Langner et al. (2010) ont établi le *Radboud Faces Database* offrant des photographies d'expressions faciales émotionnelles d'adultes et d'enfants caucasiens prises selon une direction du regard (*eye gaze*) et une orientation de la tête variables. Une étude de validation ayant utilisé les photographies prises de face a été conduite et les résultats permettent d'entrevoir un haut taux de reconnaissance. Enfin, Samuelsson, Jarnvik, Henningsson, Andersson, et Carlbring (2012) ont conçu le *Umeå University Database of Facial Expressions* qui comprend des photographies d'hommes et de femmes d'ethnicités variées (Suède, Europe centrale, Asie et pays Arabes) âgés entre 17 et 67 ans exprimant les six émotions de base ainsi qu'un affect neutre. Les résultats obtenus démontrent la validité empirique de cet ensemble de stimuli grâce à un taux de classification exacte élevée ($M = 88 \%$).

Toutefois, d'importantes limitations résident dans l'utilisation de ces ensembles de stimuli. D'abord, puisqu'il s'agit de photographies statiques provenant de personnes réelles, ces stimuli ne peuvent être modifiés ou adaptés afin de correspondre à des caractéristiques spécifiques à une expérimentation (p. ex., présenter des femmes caucasiennes âgées). Aussi, les stimuli statiques évoquent des réponses musculaires plus faibles et représentent une validité écologique moindre que les stimuli dynamiques (Rymarczyk, Biele, Grabowska, & Majczynski, 2011; Sato, Fujimura, & Suzuki, 2008). De plus, puisque les déficits de la reconnaissance des expressions faciales émotionnelles

peuvent être plus légers, l'évaluation nécessite l'utilisation de stimuli présentant diverses intensités émotionnelles, ce que permettent les stimuli dynamiques (Sato & Yoshikawa, 2007).

Des clips vidéos dans lesquels des acteurs expriment des émotions ont également été utilisés (Gosselin, Kirouac, & Doré, 1995). L'un des avantages d'évaluer la reconnaissance des expressions faciales avec de vrais visages est la variabilité inter-acteurs, correspondant davantage à la réalité. Toutefois, cela représente un processus long et coûteux. Récemment, quelques ensembles de stimuli de ce type ont été développés (Bänziger, Mortillaro, & Scherer, 2012; Van Der Schalk, Hawk, Fischer, & Doosje, 2011). Toutefois, tout comme pour les stimuli statiques, certaines caractéristiques, comme le style expressif personnel et les caractéristiques physiques (p. ex., physionomie faciale, couleur des cheveux et des yeux, texture de la peau, etc.) sont déterminées à l'avance, difficiles à contrôler et ne peuvent être adaptées aux nécessités de l'expérimentation. Qui plus est, ces clips vidéos ne sont pas optimaux pour les nouvelles approches de traitement utilisant l'interface cerveau-machine (Birbaumer, Murguialday, Weber, & Montoya, 2009; Renaud et al., 2011).

Réalité virtuelle

Grâce à la montée de l'intérêt porté aux nouvelles techniques informatiques, la réalité virtuelle a connu d'importants développements lors des dernières décennies. Non seulement cette technologie s'est raffinée, mais son potentiel s'est accru puisque

nombreuses sont les disciplines scientifiques qui l'emploient aujourd'hui. La psychologie est l'un des domaines pour lequel la venue de la réalité virtuelle et son utilisation de plus en plus accessible permettent d'effectuer des recherches jusqu'alors impossibles. De plus, les raisons d'être de la réalité virtuelle en psychologie vont bien au-delà de la recherche, elles s'étendent jusqu'à la psychologie clinique.

Avatars

La création d'avatars (visages virtuels exprimant diverses émotions) pourrait permettre de pallier les limitations induites par l'utilisation des ensembles de stimuli faciaux déjà existants (Roesch et al., 2011). L'animation synthétique de ces visages offrirait la possibilité de contrôler un grand nombre de paramètres potentiels (p. ex., intensité, direction et temps de latence du regard, apparence physique, variables sociodémographiques, angle de positionnement de la tête, luminosité, etc.) tout en donnant aux chercheurs un outil afin de créer des stimuli spécifiques correspondant à leur demande. Toutefois, avant de pouvoir être utilisés dans un contexte clinique ou de recherche en interaction cerveau-machine, ces ensembles de stimuli virtuels doivent être validés. Bien que leur nombre soit restreint (Krumhuber, Tamarit, Roesch, & Scherer, 2012), certains résultats intéressants ont émergé d'études réalisées précédemment.

Premièrement, les émotions universelles sont bien reconnues lorsqu'elles sont représentées uniquement par des lignes simples à l'ordinateur reproduisant les mouvements des muscles faciaux (Wehrle, Kaiser, Schmidt, & Scherer, 2000).

Deuxièmement, les émotions universelles exprimées par des visages synthétiques sont reconnues de manière équivalente (une exception réside pour le dégoût), sinon supérieure, à celles exprimées par de vraies personnes (Dyck et al., 2008). Troisièmement, les expressions émotionnelles faciales d'avatars provoquent des activations sous-corticales de magnitude équivalente aux expressions émotionnelles faciales réelles (Moser et al., 2007). Quatrièmement, les populations cliniques présentant des problématiques de cognition sociale présentent aussi une performance déficitaire lorsqu'ils doivent reconnaître des expressions émotionnelles faciales provenant d'avatars (Dyck, Winbeck, Leiber, Chen, & Mathiak, 2010). Ainsi, les avatars exprimant des émotions représentent une avenue prometteuse dans l'évaluation de la cognition sociale tant au sein d'un contexte de recherche fondamentale que clinique (Mühlberger et al., 2009).

Apport de la réalité virtuelle

La réalité virtuelle permettrait de créer différents environnements s'inscrivant dans une rééducation, une réadaptation ou une réinsertion adaptée à l'individu, à son vécu et à ses déficits (idiosyncrasie). Ce type de paradigme et les interfaces bidirectionnelles pourraient servir à de nombreux cliniciens. Par contre, avant de mettre en place un tel instrument dans les milieux de pratique, plusieurs conditions doivent être remplies. L'un des éléments les plus importants de l'interaction cerveau-machine est la crédibilité des avatars (Magnenat-Thalmann & Thalmann, 2005). Ceux-ci doivent se comporter comme de vrais humains et avoir des capacités

homologues telles la perception, la compréhension du langage et des émotions, la généralisation, la réactivité à l'environnement et à ses modifications, la mémoire, la personnalité, les interactions interpersonnelles et les compétences sociales. Il est aussi important qu'ils aient un comportement général semblable à celui de l'humain avec lequel il va entrer en relation. Finalement, pour assurer que ce rapport soit le plus naturel possible, il faut que les humains soient capables de reconnaître, d'identifier et de traiter les informations qui leur proviennent de l'avatar avec autant de justesse que s'il s'agissait d'une personne de leur entourage. Il est donc crucial d'être en mesure de garantir que la reconnaissance des émotions chez un avatar se fait aussi fidèlement et implique les mêmes processus que si l'individu était en face d'un humain réel.

Ainsi, il est pertinent de recruter des gens d'une population non clinique et d'effectuer une validation concomitante des avatars dynamiques à l'aide de l'électromyographie et de la poursuite oculaire. D'ailleurs, c'est l'utilisation concomitante de ces deux mesures et la présentation de stimuli dynamiques qui différencient cette recherche de celles ayant été faites précédemment avec des modèles virtuels. Dyck et al. (2008) ont comparé des photographies d'acteurs et d'avatars et ont conclu qu'aucune différence n'émerge entre les deux conditions, mais qu'il existe des variations propres à l'intérieur même de la reconnaissance d'une même émotion. Ils ont mis en évidence la facilité d'animation et de manipulation caractéristiques des personnages virtuels. Dyck et al. (2010) ont

présenté des stimuli dynamiques réels et virtuels à un groupe de participants atteints de schizophrénie et ont pu observer des déficits de la reconnaissance des émotions, par rapport au groupe contrôle, lors de la présentation des deux types de photographies. L'importance du regard dans le réalisme de l'avatar, lors de l'utilisation de stimulus dynamiques, a été soulevé par Garau, Slater, Bee, et Sasse (2001). Finalement, Weyers et al. (2009) ont combiné l'utilisation de stimuli virtuels à l'électromyographie afin de mesurer la réaction musculaire des participants lors d'un amorçage inconscient.

La présente étude combinera différents éléments des recherches mentionnées afin de valider un jeu d'avatars dynamiques. De ce fait, deux types de stimuli seront utilisés. D'abord, les *Pictures of Facial Affect* (Ekman & Friesen, 1976), batterie de photos ayant été largement utilisée dans les recherches sur la reconnaissance des émotions et hautement validée par le passé, seront soumises aux participants sous forme de séquences vidéo grâce à la technologie du morphisme. Cette technique infographique permet l'évolution progressive, continue et réaliste entre un stimulus facial neutre et l'expression faciale complète d'une des six émotions universelles. Les logiciels de morphisme facilitent la création de multiples correspondances entre les deux photographies. Ainsi, des points d'intérêt, constitués des caractéristiques faciales communes aux prototypes employés (p. ex. commissures des yeux, commissures de la bouche, nasion, grains de beauté), permettent une transduction entre des coordonnées x et y et la production d'un stimulus dynamique (Kamachi et

al., 2001; Pighin, Hecker, Lischinski, Szeliski, & Salesin, 2006). Une photo présentant un modèle réel neutre se transformera, et ce, durant 10 secondes, jusqu'à l'obtention d'une expression faciale complète par le même modèle. Ensuite, créés en collaboration avec une équipe de recherche de l'Université du Québec en Outaouais, des avatars virtuels animés exprimant l'une des six émotions universelles seront présentés.

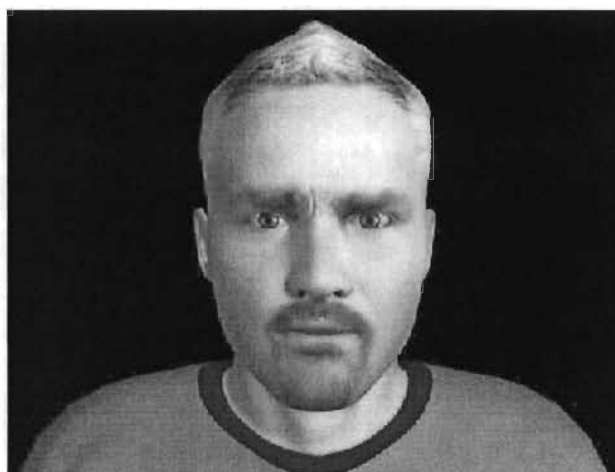


Figure 2. Avatar exprimant de la colère.

Cadre de la recherche

Un ensemble d'avatars a récemment été développé. Il s'agit de visages virtuels de divers groupes ethniques (Caucasien, Africain, Latin et Asiatique) exprimant les six émotions universelles et un état neutre, d'intensité variable (40 %, 60 % et 100 %) et selon divers angles de la tête (90°, 45° et de face). Puisque cette étude en est une de validation, très peu de données sont disponibles relativement à la validité des avatars. Toutefois, une toute première étude de validation concomitante

a récemment généré des résultats probants, en comparant les réponses de 250 participants de la population générale, constituée d'étudiants universitaires, aux six expressions virtuelles à celles des expressions réelles (Cigna, Guay, & Renaud, sous presse). Les résultats obtenus permettent de valider de manière préliminaire cet ensemble de stimuli virtuels tant sous forme statique que dynamique via les taux de réussite des participants.

Le but de l'expérimentation de cet essai est d'effectuer la validation concomitante de l'utilisation d'avatars virtuels à l'aide de l'électromyographie et de la poursuite oculaire. La question de recherche de base est donc de savoir si les expressions faciales d'émotions des avatars sont aussi aisément décodées que les mêmes expressions provenant d'humains. Une question secondaire est de savoir jusqu'où les réactions classiques observées face à l'humain qui exprime une émotion (exploration oculaire des commissures et activation inconsciente de certains muscles du visage) s'observent également face à des avatars.

Objectifs et hypothèses

La première hypothèse stipule que le niveau de reconnaissance des émotions exprimées par les avatars ne diffèrera pas significativement de celui des émotions exprimées par des gens réels. Selon la deuxième hypothèse, les temps moyens de fixation oculaire associés aux commissures faciales (extrémités des yeux et des lèvres, fortement liées à la reconnaissance faciale) seront les mêmes dans les deux

conditions. La troisième hypothèse stipule que le niveau d'activation (mimétisme) du *corrugator supercilii* sera significativement plus élevé durant la présentation des expressions négatives ou clairement désagréables (colère, peur, tristesse) que positives ou clairement agréables (joie), et ce, tant pour la condition réelle que pour la condition virtuelle, alors que l'inverse devrait s'observer pour l'activation du *zygomaticus major*. Les données concernant le dégoût et la surprise ne permettent pas d'émettre d'hypothèses tranchées. Finalement, la supériorité notoire des femmes sur les hommes pour reconnaître les émotions exprimées par le visage, pour visualiser les commissures et pour le mimétisme musculaire, devrait être observable (Hall et al., 2010) dans les deux conditions (réelle et virtuelle).

Chapitre 2

Virtual face expressing emotions: An initial concomitant and construct validity study

VIRTUAL FACES EXPRESSING EMOTIONS: AN INITIAL CONCOMITANT AND CONSTRUCT VALIDITY STUDY

Christian C. Joyal^{1,2}
Laurence Jacob¹
Marie-Hélène Cigna³
Jean-Pierre Guay^{2,3}
Patrice Renaud^{2,4}

¹ Department of Psychology, University of Quebec at Trois-Rivières, Trois-Rivières, QC, Canada

² Research Center, Philippe-Pinel Institute of Montreal, Montreal, QC, Canada

³ Department of Criminology, University of Montreal, Montreal, QC, Canada

⁴ Department of Psychology, University of Quebec in Outaouais, Gatineau, QC, Canada

Published in *Frontiers in Human Neuroscience*¹ in September 2014

Joyal CC, Jacob L, Cigna M-H, Guay J-P and Renaud P (2014) Virtual faces expressing emotions: An initial concomitant and construct validity study. *Front. Hum. Neurosci.* **8**:787. doi: 10.3389/fnhum.2014.00787

***Correspondence:** Christian C. Joyal, University of Quebec at Trois-Rivières, 3351 Boul. Des Forges, C.P. 500, Trois-Rivières, QC G9A 5H7, Canada e-mail: christian.joyal@uqtr.ca

[†]Christian C. Joyal and Laurence Jacob have contributed equally to this work.

¹ Les normes de publication de la revue *Frontiers in Human Neuroscience* se retrouvent à en Appendice.

SUMMARY

Background: Facial expressions of emotions represent classic stimuli for the study of social cognition. Developing virtual dynamic facial expressions of emotions, however, would open-up possibilities, both for fundamental and clinical research. For instance, virtual faces allow real-time Human–Computer retroactions between physiological measures and the virtual agent.

Objectives: The goal of this study was to initially assess concomitants and construct validity of a newly developed set of virtual faces expressing six fundamental emotions (happiness, surprise, anger, sadness, fear, and disgust). Recognition rates, facial electromyography (zygomatic major and corrugator supercilii muscles), and regional gaze fixation latencies (eyes and mouth regions) were compared in 41 adult volunteers (20 ♂, 21 ♀) during the presentation of video clips depicting real vs. virtual adults expressing emotions. *Results:* Emotions expressed by each set of stimuli were similarly recognized, both by men and women. Accordingly, both sets of stimuli elicited similar activation of facial muscles and similar ocular fixation times in eye regions from man and woman participants. *Conclusion:* Further validation studies can be performed with these virtual faces among clinical populations known to present social cognition difficulties. Brain–Computer Interface studies with feedback–feedforward interactions based on facial emotion expressions can also be conducted with these stimuli.

Keywords: virtual, facial, expressions, emotions, validation.

INTRODUCTION

Recognizing emotions expressed non-verbally by others is crucial for harmonious interpersonal exchanges. A common approach to assess this capacity is the evaluation of facial expressions. Presentations of photographs of real faces allowed the classic discovery that humans are generally able to correctly perceive six fundamental emotions (happiness, surprise, fear, sadness, anger, and disgust) experienced by others from their facial expressions (Ekman and Oster, 1979). These stimuli also helped documenting social cognition impairment in neuropsychiatric disorders such as autism (e.g., Dapretto et al., 2006), schizophrenia (e.g., Kohler et al., 2010), and psychopathy (Deeley et al., 2006). Given their utility, a growing number of sets of facial stimuli were developed during the past decade, including the Montreal Set of Facial Displays of Emotion (Beaupré and Hess, 2005), the Karolinska Directed Emotional Faces (Goeleven et al., 2008), the NimStim set of facial expressions (Tottenham et al., 2009), the UC Davis set of emotion expressions (Tracy et al., 2009), the Radboud faces database (Langner et al., 2010), and the Umeå University database of facial expressions (Samuelsson et al., 2012). These sets, however, have limitations. First, they consist of static photographs of facial expressions from real persons, which cannot be readily modified to fit a specific requirement of particular studies (e.g., presenting elderly Caucasian females). Second, static facial stimuli elicit weaker muscle mimicry responses, and they are less ecologically valid than dynamic stimuli (Rymarczyk et al., 2011; Sato et al., 2008). Because recognition impairments encountered in clinical settings might be subtle, assessment of different emotional intensities is often required, which is better achieved with dynamic stimuli (incremental expression of emotions) than static photographs (Sato and Yoshikawa, 2007).

Custom-made video clips of human actors expressing emotions have also been used (Gosselin et al., 1995), although it is a time and financially consuming process. Recent sets of validated video clips are available (Bänziger et al., 2012; van der Schalk et al., 2011), but again, important factors such as personal expressive style and physical characteristics (facial physiognomy, eye-hair color, skin texture, etc.) of the stimuli are fixed and difficult to control. Furthermore, video clips are not ideal for novel treatment approaches that use Human-Computer Interfaces (HCI; Birbaumer et al., 2009; Renaud et al., 2011).

A promising avenue to address all these issues is the creation of virtual faces expressing emotions (Roesch et al., 2011). Animated synthetic faces expressing emotions allow controlling of a number of potential confounds (e.g., equivalent intensity, gaze, physical appearance, socio-demographic variables, head angle, ambient luminosity), while giving experimenters a tool to create specific stimuli corresponding to their particular demands. Before being used with HCI in research or clinical settings, sets of virtual faces expressing emotions must be validated. Although avatars expressing emotions are still rare (Krumhuber et al., 2012), interesting results emerged from previous studies. First, basic emotions are well recognized from simple computerized line drawing depicting facial muscle movements (Wehrle et al., 2000). Second, fundamental emotions expressed by synthetic faces are equally, if not better, recognized than those expressed by real persons (except maybe for disgust; Dyck et al., 2008). Third, virtual facial expressions of emotions elicit sub-cortical activation of equivalent magnitude than that observed with real facial expressions (Moser et al., 2007). Finally, clinical populations with deficits of social cognition also show impaired recognition of emotions expressed by avatars

(Dyck et al., 2010). In brief, virtual faces expressing emotions represent a promising approach to evaluate aspects of social cognition both for fundamental and clinical research (Mühlberger et al., 2009).

We recently developed a set of adult (males and females) virtual faces from different ethnic backgrounds (Caucasian, African, Latin, or Asian), expressing seven facial emotional states (neutral, happiness, surprise, anger, sadness, fear, and disgust) with different intensities (40, 60, 100%), from different head angles (90°, 45°, and full frontal; Cigna et al., in press). The purpose of this study was to validate a dynamic version of these stimuli. In addition to verify convergent validity with stimuli of dynamic expressions from real persons, the goal of this study was to demonstrate construct validity with physiological measures traditionally associated with facial emotion recognition of human expressions: facial electromyography (fEMG) and eye-tracking.

Facial muscles of an observer generally react with congruent contractions while observing the face of a real human expressing a basic emotion (Dimberg, 1982). In particular, the zygomatic major (lip corner pulling movement) and corrugator supercilii (brow lowering movement) muscles are rapidly, unconsciously, and differentially activated following exposition to pictures of real faces expressing basic emotions (Dimberg and Thunberg, 1998; Dimberg et al., 2000). Traditionally, these muscles are used to distinguish between positive and negative emotional reactions (e.g., Cacioppo et al., 1986; Larsen et al., 2003). In psychiatry, fEMG have been used to demonstrate sub-activation of the zygomatic major and/or the corrugator supercilii muscles in autism (McIntosh et al., 2006), schizophrenia (Mattes et al., 1995), personality disorders (Herpertz et al., 2001), and conduct disorders (de Wied et al., 2006). Interestingly, virtual faces expressing basic emotions induce the same facial muscle activation in the observer as do real faces, with the same dynamic > static stimulus advantage (Weyers et al., 2006, 2009). Thus, recordings of the zygomatic major and the corrugator supercilii muscle activations should represent a good validity measure of computer-generated faces.

Eye-trackers are also useful in the study of visual emotion recognition because gaze fixations on critical facial areas (especially mouth and eyes) are associated with efficient judgment of facial expressions (Walker-Smith et al., 1977). As expected, different ocular scanning patterns and regional gaze fixations are found among persons with better (Hall et al., 2010) or poorer recognition of facial expressions of emotions (e.g., persons with autism, Dalton et al., 2005; schizophrenia, Loughland et al., 2002; or psychopathic traits, Dadds et al., 2008). During exposition to virtual expressions of emotions, very few eye-tracking studies are available, although the data seem comparable to those with real stimuli (e.g., Wieser et al., 2009). In brief, fEMG and eye-tracking measures could serve not only to validate virtual facial expressions of emotions, but also to demonstrate the possibility of using peripheral input (e.g., muscle activation and gaze fixations) with virtual stimuli for HCI. The main goal of this study was to conduct three types of validation with a new set of virtual faces expressing emotions: (1) primary (face) validity with recognition rates; (2) concurrent validity with another, validated instrument; and (3) criterion validity with facial muscle activation and eye gaze fixations. This study was based on three hypotheses. H1: the recognition rates would not differ significantly between the real and virtual conditions for any of the six expressed emotions; H2: real and virtual conditions would elicit similar mean activation of the zygomatic major and corrugator supercilii muscles for the six

expressed emotions; H3: the mean time of gaze fixations on regions of interest would be similar in both conditions (real and virtual).

MATERIALS AND METHODS

PARTICIPANTS

Forty-one adult Caucasian volunteers participated in the study (mean age: 24.7 ± 9.2 , 18-60 interval; 20 males and 21 females). They were recruited via Facebook friends and university campus advertisement. Exclusion criteria were a history of epileptic seizures, having received a major mental disorder diagnosis, or suffering from motor impairment. Each participant signed an informed consent form and received a 10\$ compensation for their collaboration. This number of participants was chosen based on previous studies concerned with emotional facial expressions of emotion (between 20 and 50 participants; Dyck et al., 2008; Krumhuber et al., 2012; Likowski et al., 2008; Mühlberger et al., 2009; Roesch et al., 2011; Weyers et al., 2006, 2009).

MATERIALS AND MEASURES

Participants were comfortably seated in front of a 19" monitor in a sound attenuated, air-conditioned (19°C) laboratory room. The stimuli were video clips of real Caucasian adult faces and video clips of avatar Caucasian adult faces dynamically expressing a neutral state and the six basic emotions (happiness, surprise, anger, sadness, fear, and disgust). Video clips of real persons (one male, one female) were obtained from computerized morphing (FantaMorph software, Abrasoft) of two series of photographs from the classic Picture of Facial Affect set (Ekman and Friesen, 1976; from neutral to 100% intensity). Video clips of virtual faces were obtained from morphing (neutral to 100% intensity) static expressions of avatars from our newly developed set (one male, and female; Cigna et al., in press; Figure 1). The stimuli configurations were based on the POFA (Ekman and Friesen, 1976) and the descriptors of the Facial Action Coding System (Ekman et al., 2002). In collaboration with a professional computer graphic designer specialized in facial expressions (BehaVR solution)¹, virtual dynamic facial movements were obtained by gradually moving multiple facial points (action units) along vectors involved in the 0-100% expressions (Rowland and Perrett, 1995). For the present study, 24 video clips were created: 2 (real and virtual) \times 2 (man and woman) \times 6 (emotions). A series example is depicted in Figure 2. Video clips of 2.5, 5, and 10 s. were obtained and pilot data indicated that 10 s presentations were optimal for eye-tracking analyses. Therefore, real and synthetic expressions were presented during 10 s, preceded by a 2 s central cross fixation. During the inter-stimulus intervals (max 10 s), participants had to select (mouse click) the emotion expressed by the stimulus from a multiple-choice questionnaire (Acrobat Pro software) appearing on the screen. Each stimulus was presented once, pseudo randomly, in four blocks of six emotions, counterbalanced across participants (Eyeworks presentation software, Eyetracking Inc., CA, USA).

¹ Voir <http://www.behavrsolution.com/>



Figure 1. Examples of 100% expression (sadness) by real and virtual stimuli are shown.



Figure 2. Example of a sequence from neutral to 100% expression (anger) from a computer-generated face is shown.

Fiber contractions (microvolts) of the zygomatic major and the corrugator supercilii muscles (left side) were recorded with 7 mm bipolar (common mode rejection) Ag/AgCl pre-gelled adhesive electrodes¹, placed in accordance with the guidelines of Fridlund and Cacioppo (1986). The skin was exfoliated with NuPrep (Weaver, USA) and cleansed with sterile alcohol prep pads (70%). The raw signal was pre-amplified through a MyoScan-Z sensor (Thought Technology, Montreal, QC, Canada) with built-in impedance check ($<15\text{ k}\Omega$), referenced to the upper back. Data were relayed to a ProComp Infinity encoder (range of 0-2000 μV ; Thought Technology) set at 2048 Hz, and post-processed with the Physiology Suite for Biograph Infinity (Thought Technology). Data were filtered with a 30 Hz high-pass filter, a 500 Hz low pass filter, and 60 Hz notch filter. Baseline EMG measures were obtained at the beginning of the session, during eye-tracking calibration. Gaze fixations were measured with a FaceLab5 eye-tracker (SeeingMachines, Australia), and regions of interest were defined as commissures of the eyes and the mouth (Eyeworks software; Figure 3). Assessments were completed in approximately 30 min.

¹ Voir <http://www.bio-medical.com>

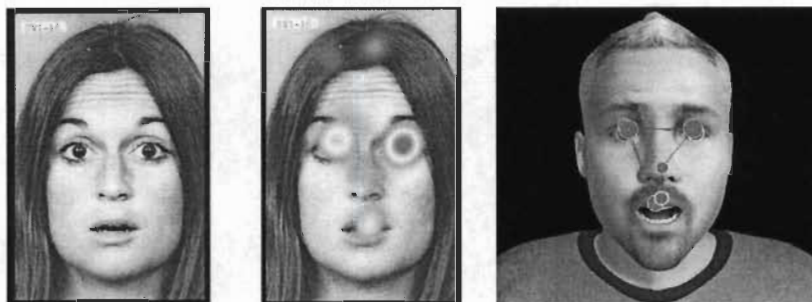


Figure 3. Example of eye-tracking data (regional gaze fixations) on real and virtual stimuli is shown.

STATISTICAL ANALYSES

Emotion recognition and physiological data from each participant were recorded in Excel files and converted into SPSS for statistical analyses. First, recognition rates (%) for real vs. avatar stimuli from male and female participants were compared with Chi-square analyses, corrected ($p < 0.008$) and uncorrected ($p < 0.05$) for multiple comparisons. The main goal of this study was to demonstrate that the proportion of recognition of each expressed emotion would be statistically similar in both conditions (real vs. virtual). To this end, effect sizes (ES) were computed using the Cramer's V statistic. Cramer's V values of 0-10, 11-20, 21-30, and 31 and are considered null, small, medium, and large, respectively (Fox, 2009). Repeated measures analyses of variance (ANOVAs) between factors (real vs. virtual) with the within-subject factor emotion (happiness, surprise, anger, sadness, fear, or disgust) were also conducted on the mean fiber contractions of the zygomatic major and the corrugator supercilii muscles, as well as the mean time spent looking at the mouth, eye, and elsewhere. For these comparisons, ES were computed with the r formula, values of 0.10, 0.30, and 0.50 were considered small, medium, and large, respectively (Field, 2005).

ETHICAL CONSIDERATION

This study was approved by the ethical committee of the University of Quebec at Trois-Rivières (CER-12-186-06.09).

RESULTS

No significant difference emerged between male (90%) and female (92.1%) raters (data not shown). In accordance with H1, recognition rates of the whole sample did not differ significantly between real and virtual expressions, neither overall [90.4 vs. 91.7%, respectively; $\chi^2(1) = 0.07, p = 0.51$] nor for each emotion (Table 1). ES was small between conditions for all emotions, including joy (0.10), surprise (0.08), anger (0.07), sadness (0.04), fear (0.12), and disgust (0.07) (Table 1). In accordance with H2, no difference emerged between the mean contractions of the zygomatic major or the corrugator supercilii muscles between both conditions for any emotions, with all ES below 0.19 (Table 2). Finally, in partial accordance with H3, only the time spent looking at the mouth differed significantly between conditions [Real > Virtual; $F(1,29) = 3.84, p = 0.001, ES = 0.58$; Table 3]. Overall, low ES demonstrate that very few difference exist between the real and virtual conditions. However, such low ES also

generated weak statistical power (0.28 with an alpha set at 0.05 and 41 participants). Therefore, the possibility remains that these negative results reflect a type-II error ($1 - \text{power} = 0.72$).

Table 1. Comparisons of recognition rates (%) between real and virtual facial expressions of emotions.

	Real dynamic	Avatar dynamic	χ^2	p	ES
Overall	90.4	91.7	0.07	> 0.5	0.03
Joy	98.9	86.7	0.16	> 0.5	0.10
Surprise	97.6	91.5	0.53	> 0.3	0.08
Anger	96.4	87.8	0.43	> 0.5	0.07
Sadness	91.5	96.4	0.11	> 0.5	0.04
Fear	85.3	92.7	1.1	> 0.3	0.12
Disgust	70.8	98.8	0.35	> 0.5	0.07

ES, effect size (Cramer's V).

Table 2. Comparisons of mean (SD) facial muscle activations during presentations of real and virtual stimuli expressing the basic emotions.

	Real (μV)	Avatar (μV)	<i>F</i>	<i>p</i>	ES
Zygomaticus Major					
Overall	4.05 (3.1)	3.89 (3.7)	0.40	> 0.5	0.06
Joy	4.59 (4.6)	4.21 (4.1)	0.92	> 0.3	0.14
Fear	4.61 (4.1)	4.31 (5.3)	0.49	> 0.5	0.07
Anger	3.75 (3.1)	3.76 (3.9)	0.03	> 0.5	0.00
Sadness	3.76 (3.4)	3.33 (3.5)	1.2	> 0.25	0.18
Surprise	3.53 (3.0)	3.62 (3.9)	0.25	> 0.5	0.04
Disgust	4.05 (3.5)	4.12 (4.9)	0.14	> 0.5	0.02
Corrugator Supercilii					
Overall	8.71 (4.8)	8.59 (5.1)	0.03	> 0.5	0.05
Joy	9.43 (7.0)	7.58 (4.9)	0.89	> 0.3	0.13
Fear	9.10 (4.9)	8.25 (4.7)	1.1	> 0.3	0.17
Anger	8.68 (4.9)	11.27 (8.9)	0.86	> 0.5	0.13
Sadness	8.62 (4.8)	8.44 (5.0)	0.39	> 0.3	0.06
Surprise	8.38 (4.8)	8.14 (4.6)	0.55	> 0.5	0.09
Disgust	8.07 (4.7)	7.89 (4.7)	0.38	> 0.5	0.06

ES, effect size (*r*).

Table 3. Comparisons of mean (SD) duration (ms) of gaze fixations during presentations of real and virtual stimuli expressing the basic emotions.

	Real (ms)	Avatar (ms)	<i>F</i>	<i>p</i>	ES
Eyes (overall)	4334.4 (1831)	4534.3 (1783)	0.94	> 0.3	0.17
Joy	3511 (1211)	3792 (1488)	NS		
Fear	4333 (1682)	4594 (1822)	NS		
Anger	4752 (2100)	4983 (1923)	NS		
Sadness	5132 (2345)	5090 (2015)	NS		
Surprise	4289 (1819)	4499 (1885)	NS		
Disgust	3966 (1562)	4222 (1724)	NS		
Mouth (overall)	1075.1 (196)	811.1 (147)	3.84	0.001	0.58
Joy	1613 (257)	712 (123)	4.66	0.001	
Fear	977 (300)	821 (210)	NS		
Anger	869 (113)	776 (280)	NS		
Sadness	1015 (320)	935 (152)	NS		
Surprise	1165 (385)	906 (108)	NS		
Disgust	858 (104)	726 (225)	NS		
Elsewhere (over all)	4591.5 (395)	4651.6 (401)	0.29	> 0.5	0.08

DISCUSSION

The main goal of this study was to initially assess concomitants and construct validity of computer-generated faces expressing emotions. No difference was found between recognition rates, facial muscle activation, and gaze time spent on the eye region of virtual and real facial expression of emotions. Thus, these virtual faces can be used for the study of facial emotion recognition. Basic emotions such as happiness, anger, fear, and sadness were all correctly recognized with rates higher than 80%, which is comparable to rates obtained with other virtual stimuli (Dyck et al., 2008; Krumhuber et al., 2012). Interestingly, disgust expressed by our avatars was correctly detected in 98% of the cases (compared with 71% for real stimuli), an improvement from older stimuli (Dyck et al., 2008; Krumhuber et al., 2012). The only difference we found between the real vs. virtual conditions was the time spent looking at the mouth region of the real stimuli, which might be due to an artifact. Our real stimuli were morphed photographs, which could introduce unnatural saccades or texture-smoothing from digital blending. In this study, for instance, the highest time spent looking at the mouth of real stimuli was associated with a jump in the smile of the female POFA picture set (abruptly showing her teeth). Thus, comparisons with video clips of real persons expressing emotions are warranted (van der Schalk et al., 2011). Still, these preliminary data are encouraging. They suggest that avatars could eventually serve alternative clinical approaches such as virtual reality immersion and

HCI Birbaumer et al., 2009; Renaud et al., 2011). It could be hypothesized, for instance, that better detection of other's facial expressions would be achieved through biofeedback based on facial EMG and avatars reacting with corresponding expressions (Allen et al., 2001; Bornemann et al., 2012).

Some limits associated with this study should be addressed by future investigation. First, as abovementioned, using video clips of real persons expressing emotions would be preferable to using morphed photographs. It would also allow presentation of colored stimuli in both conditions. Second, and most importantly, the small number of participants in the present study prevents demonstrating that the negative results were not due to a type-II statistical error related with a lack of power. Most studies using avatars expressing emotions are based on sample sizes ranging from 20 to 50 participants (Dyck et al., 2008; Krumhuber et al., 2012; Likowski et al., 2008; Mühlberger et al., 2009; Roesch et al., 2011; Weyers et al., 2006, 2009), because recognition rates are elevated, physiological effects are strong, and effect sizes are high. Although demonstrating an absence of difference is more difficult, these and the present results suggest that no significant difference exist between recognition and reaction to real and virtual agent expression of emotions. Only the addition of more participants in future investigations with our avatars will allow discarding this possibility.

Finally, with the increasing availability of software enabling the creation of whole-body avatars (Renaud et al., 2014), these virtual faces could be used to assess and treat social cognition impairment in clinical settings. We truly believe that the future of social skill evaluation and training resides in virtual reality.

AUTHOR NOTE

This study was presented in part at the 32nd annual meeting of the Association for Treatment of Sexual Abusers (ATSA), Chicago, 2013.

CONFLICT OF INTEREST STATEMENT

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

REFERENCES

- Allen, J. J., Harmon-Jones, E., and Cavender, J. H. (2001). Manipulation of frontal EEG asymmetry through biofeedback alters self-reported emotional responses and facial EMG. *Psychophysiology* 38, 685-693. doi: 10.1111/1469-8986.3840685
- Bänziger, T., Mortillaro, M., and Scherer, K. R. (2012). Introducing the Geneva Multimodal expression corpus for experimental research on emotion perception. *Emotion* 12, 1161-1179. doi:10.1037/a0025827
- Beaupré, M. G., and Hess, U. (2005). Cross-cultural emotion recognition among Canadian ethnic groups. *J. Cross Cult. Psychol.* 36, 355-370. doi:10.1177/0022022104273656
- Birbaumer, N., Ramos Murguialday, A., Weber, C., and Montoya, P. (2009). Neurofeedback and brain-computer interface: Clinical applications. *Int. Rev. Neurobiol.* 86, 107-117. doi:10.1016/S0074-7742(09)86008-X
- Bornemann, B., Winkelman, P., and der Meer, E. V. (2012). Can you feel what you do not see? Using internal feedback to detect briefly presented emotional stimuli. *Int. J. Psychophysiol.* 85, 116-124. doi:10.1016/j.ijpsycho.2011.04.007
- Cacioppo, J. T., Petty, R. P., Losch, M. E., and Kim, H. S. (1986). Electromyographic activity over facial muscle regions can differentiate the valence and intensity of affective reactions. *J. Pers. Soc. Psychol.* 50, 260-268. doi:10.1037/0022-3514.50.2.260
- Cigna, M.-H., Guay, J.-P., and Renaud, P. (in press). La reconnaissance émotionnelle faciale : validation préliminaire de stimuli virtuels et comparaison avec les Pictures of Facial Affect [Facial emotional recognition: Preliminary validation with virtual stimuli and the Picture of Facial Affect]. *Criminologie*.
- Dadds, M. R., El Masry, Y., Wimalaweera, S., and Guastella, A. J. (2008). Reduced eye gaze explains "fear blindness" in childhood psychopathic traits. *J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry* 47, 455-463. doi:10.1097/CHI.0b013e31816407f1
- Dalton, K. M., Nacewicz, B. M., Johnstone, T., Schaefer, H. S., Gernsbacher, M. A., Goldsmith, H. H., et al. (2005). Gaze fixation and the neural circuitry of face processing in autism. *Nat. Neurosci.* 8, 519-526. doi:10.1038/nn1421
- Dapretto, M., Davies, M. S., Pfeifer, J. H., Scott, A. A., Sigman, M., Bookheimer, S. Y., et al. (2006). Understanding emotions in others: Mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. *Nat. Neurosci.* 9, 28-30. doi:10.1038/nn1611
- de Wied, M., van Boxtel, A., Zaalberg, R., Goudena, P. P., and Matthys, W. (2006). Facial EMG responses to dynamic emotional facial expressions in boys with disruptive behavior disorders. *J. Psychiatr. Res.* 40, 112-121. doi:10.1016/j.jpsychires.2005.08.003

- Deeley, Q., Daly, E., Surguladze, S., Tunstall, N., Mezey, G., Beer, D., et al. (2006). Facial emotion processing in criminal psychopathy Preliminary functional magnetic resonance imaging study. *Br. J. Psychiatry* 189, 533-539. doi:10.1192/bjp.bp.106.021410
- Dimberg, U. (1982). Facial reactions to facial expressions. *Psychophysiology* 19, 643-647.
- Dimberg, U., and Thunberg, M. (1998). Rapid facial reactions to emotional facial expressions. *Scand. J. Psychol.* 39, 39-45. doi:10.1111/1467-9450.00054
- Dimberg, U., Thunberg, M., and Elmehed, K. (2000). Unconscious facial reactions to emotional facial expressions. *Psychol. Sci.* 11, 86-89. doi:10.1111/1467-9280.00221
- Dyck, M., Winbeck, M., Leiberg, S., Chen, Y., Gur, R. C., and Mathiak, K. (2008). Recognition profile of emotions in natural and virtual faces. *PLoS ONE* 3:e3628. doi:10.1371/journal.pone.0003628
- Dyck, M., Winbeck, M., Leiberg, S., Chen, Y., and Mathiak, K. (2010). Virtual faces as a tool to study emotion recognition deficits in schizophrenia. *Psychiatry Res.* 179, 247-252. doi:10.1016/j.psychres.2009.11.004
- Ekman, P., and Friesen, W. V. (1976). *Pictures of Facial Affect*. Palo Alto: Consulting Psychologists Press.
- Ekman, P., Friesen, W. V., and Hager, J. C. (2002). *Facial Action Coding System: The manual*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press.
- Ekman, P., and Oster, H. (1979). Facial expressions of emotion. *Annu. Rev. Psychol.* 30, 527-554. doi:10.1146/annurev.ps.30.020179.002523
- Field, A. (2005). *Discovering statistical analyses using SPSS*, 2nd ed. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, Inc.
- Fox, J. (2009). *A mathematical primer for social statistics*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, Inc.
- Fridlund, A. J., and Cacioppo, J. T. (1986). Guidelines for human electromyographic research. *Psychophysiology* 23, 567-589. doi:10.1111/j.1469-8986.1986.tb00676.x
- Goeleven, E., De Raedt, R., Leyman, L., and Verschuere, B. (2008). The Karolinska directed emotional faces: A validation study. *Cognit. Emot.* 22, 1094-1118. doi:10.1017/sjp.2013.9
- Gosselin, P., Kirouac, G., and Doré, F. Y. (1995). Components and recognition of facial expression in the communication of emotion by actors. *J. Pers. Soc. Psychol.* 68, 83. doi:10.1037/0022-3514.68.1.83

- Hall, J. K., Hutton, S. B., and Morgan, M. J. (2010). Sex differences in scanning faces: Does attention to the eyes explain female superiority in facial expression recognition? *Cogn. Emot.* 24, 629-637. doi:10.1080/02699930902906882
- Herpertz, S. C., Werth, U., Lukas, G., Qunaibi, M., Schuerkens, A., Kunert, H. J., et al. (2001). Emotion in criminal offenders with psychopathy and borderline personality disorder. *Arch. Gen. Psychiatry* 58, 737-745. doi:10.1001/archpsyc.58.8.737
- Kohler, C. G., Walker, J. B., Martin, E. A., Healey, K. M., and Moberg, P. J. (2010). Facial emotion perception in schizophrenia: A meta-analytic review. *Schizophr. Bull.* 36, 1009-1019. doi:10.1093/schbul/sbn192
- Krumhuber, E. G., Tamarit, L., Roesch, E. B., and Scherer, K. R. (2012). FACSGen 2.0 animation software: Generating three-dimensional FACS-valid facial expressions for emotion research. *Emotion* 12, 351-363. doi:10.1037/a0026632
- Langner, O., Dotsch, R., Bijlstra, G., Wigboldus, D. H., Hawk, S. T., and van Knippenberg, A. (2010). Presentation and validation of the Radboud Faces Database. *Cogn. Emot.* 24, 1377-1388. doi:10.1080/02699930903485076
- Larsen, J. T., Norris, C. J., and Cacioppo, J. T. (2003). Effects of positive and negative affect on electromyographic activity over zygomaticus major and corrugator supercilii. *Psychophysiology* 40, 776-785. doi:10.1111/1469-8986.00078
- Likowski, K. U., Mühlberger, A., Seibt, B., Pauli, P., and Weyers, P. (2008). Modulation of facial mimicry by attitudes. *J. Exp. Soc. Psychol.* 44, 1065-1072. doi:10.1016/j.jesp.2007.10.007
- Loughland, C. M., Williams, L. M., and Gordon, E. (2002). Schizophrenia and affective disorder show different visual scanning behavior for faces: A trait versus state-based distinction? *Biol. Psychiatry* 52, 338-348. doi:10.1016/S0006-3223(02)01356-2
- Mattes, R. M., Schneider, F., Heimann, H., and Birbaumer, N. (1995). Reduced emotional response of schizophrenic patients in remission during social interaction. *Schizophr. Res.* 17, 249-255. doi:10.1016/0920-9964(95)00014-3
- McIntosh, D. N., Reichmann-Decker, A., Winkielman, P., and Wilbarger, J. L. (2006). When the social mirror breaks: Deficits in automatic, but not voluntary, mimicry of emotional facial expressions in autism. *Dev. Sci.* 9, 295-302. doi:10.1111/j.1467-7687.2006.00492.x
- Moser, E., Derntl, B., Robinson, S., Fink, B., Gur, R. C., and Grammer, K. (2007). Amygdala activation at 3T in response to human and avatar facial expressions of emotions. *J. Neurosci. Methods* 161, 126-133. doi:10.1016/j.jneumeth.2006.10.016

- Mühlberger, A., Wieser, M. J., Herrmann, M. J., Weyers, P., Tröger, C., and Pauli, P. (2009). Early cortical processing of natural and artificial emotional faces differs between lower and higher socially anxious persons. *J. Neural Transm.* 116, 735-746. doi:10.1007/s00702-008-0108-6
- Renaud, P., Joyal, C. C., Stoleru, S., Goyette, M., Weiskopf, N., and Birbaumer, N. (2011). Real-time functional magnetic imaging-brain-computer interface and virtual reality promising tools for the treatment of pedophilia. *Prog. Brain Res.* 192, 263-272. doi:10.1016/B978-0-444-53355-5.00014-2
- Renaud, P., Trottier, D., Rouleau, J. L., Goyette, M., Saumur, C., Boukhalfi, T., et al. (2014). Using immersive virtual reality and anatomically correct computer-generated characters in the forensic assessment of deviant sexual preferences. *Virtual Real.* 18, 37-47. doi:10.1007/s10055-013-0235-8
- Roesch, E. B., Tamarit, L., Reveret, L., Grandjean, D., Sander, D., and Scherer, K. R. (2011). FACSGen: A tool to synthesize emotional facial expressions through systematic manipulation of facial action units. *J. Nonverbal Behav.* 35, 1-16. doi:10.1007/s10919-010-0095-9
- Rowland, D. A., and Perrett, D. I. (1995). Manipulating facial appearance through shape and color. *IEEE Comput. Graph. Appl.* 15, 70-76. doi:10.1109/38.403830
- Rymarczyk, K., Biele, C., Grabowska, A., and Majczynski, H. (2011). EMG activity in response to static and dynamic facial expressions. *Int. J. Psychophysiol.* 79, 330-333. doi:10.1016/j.ijpsycho.2010.11.001
- Samuelsson, H., Jarnvik, K., Henningsson, H., Andersson, J., and Carlbring, P. (2012). The Umeå University Database of Facial Expressions: A validation study. *J. Med. Internet Res.* 14, e136. doi:10.2196/jmir.2196
- Sato, W., Fujimura, T., and Suzuki, N. (2008). Enhanced facial EMG activity in response to dynamic facial expressions. *Int. J. Psychophysiol.* 70, 70-74. doi:10.1016/j.ijpsycho.2008.06.001
- Sato, W., and Yoshikawa, S. (2007). Spontaneous facial mimicry in response to dynamic facial expressions. *Cognition* 104, 1-18. doi:10.1016/j.cognition.2006.05.001
- Tottenham, N., Tanaka, J. W., Leon, A. C., McCarry, T., Nurse, M., Hare, T. A., et al. (2009). The NimStim set of facial expressions: Judgments from untrained research participants. *Psychiatry Res.* 168, 242-249. doi:10.1016/j.psychres.2008.05.006
- Tracy, J. L., Robins, R. W., and Schriber, R. A. (2009). Development of a FACS-verified set of basic and self-conscious emotion expressions. *Emotion* 9, 554-559. doi:10.1037/a0015766

- van der Schalk, J., Hawk, S. T., Fischer, A. H., and Doosje, B. (2011). Moving faces, looking places: Validation of the Amsterdam Dynamic Facial Expression Set (ADFES). *Emotion* 11, 907-920. doi:10.1037/a0023853
- Walker-Smith, G. J., Gale, A. G., and Findlay, J. M. (1977). Eye movement strategies in face perception. *Perception* 6, 313-326. doi:10.1068/p060313
- Wehrle, T., Kaiser, S., Schmidt, S., and Scherer, K. R. (2000). Studying the dynamics of emotional expression using synthesized facial muscle movements. *J. Pers. Soc. Psychol.* 78, 105. doi:10.1037/0022-3514.78.1.105
- Weyers, P., Mühlberger, A., Hefe, C., and Pauli, P. (2006). Electromyographic responses to static and dynamic avatar emotional facial expressions. *Psychophysiology* 43, 450-453. doi:10.1111/j.1469-8986.2006.00451.x
- Weyers, P., Mühlberger, A., Kund, A., Hess, U., and Pauli, P. (2009). Modulation of facial reactions to avatar emotional faces by nonconscious competition priming. *Psychophysiology* 46, 328-335. doi:10.1111/j.1469-8986.2008.00771.x
- Wieser, M. J., Pauli, P., Alpers, G. W., and Mühlberger, A. (2009). Is eye to eye contact really threatening and avoided in social anxiety? An eye-tracking and psychophysiology study. *J. Anxiety Disord.* 23, 93-103. doi:10.1016/j.janxdis.2008.04.004

Chapitre 3

Conclusion générale

Les objectifs de la présente étude étaient d'abord d'effectuer une validation concomitante d'avatars virtuels exprimant les émotions universelles via l'électromyographie et la poursuite oculaire. La question de recherche de base visait à savoir si les expressions faciales d'émotions émises par les avatars peuvent être décodées de manière équivalente que les mêmes expressions provenant d'humains. Une question secondaire était de savoir si les réactions faciales de l'observateur provoquées par un visage réel exprimant une émotion s'observent aussi face à des avatars. En conformité avec la première hypothèse, le niveau de reconnaissances des émotions exprimées par les avatars fut statistiquement semblable à celui des émotions exprimées par des gens réels. De plus, il en est de même pour la deuxième hypothèse; les temps moyens de fixation oculaire associés aux commissures faciales furent les mêmes dans les deux conditions. En dernier lieu, comme le postulait la troisième hypothèse, le niveau d'activation du *corrugator supercilii* fut significativement plus élevé durant la présentation des expressions négatives que positives, et ce, tant pour la condition réelle que virtuelle, alors que l'inverse fut observé pour l'activation du *zygomaticus major*.

Quelques études utilisant des avatars dynamiques avaient été publiées avant la conduite de la présente étude. Toutefois, elles n'utilisaient pas de stimuli réels dynamiques pour effectuer les comparaisons, mais plutôt des stimuli réels statiques

(p. ex., photographies) rendant leurs conclusions plus limitées. Le principal objectif de la présente étude était de n'utiliser que des stimuli dynamiques afin de surmonter les lacunes des études antérieures et de comparer les taux de reconnaissance des expressions faciales émises par un personnage réel et virtuel. Le but de l'étude était aussi de valider un jeu d'avatars exprimant des émotions.

Il est maintenant possible de confirmer que les expressions faciales des stimuli virtuels et réels sont reconnues de façon similaire, du moins avec le présent jeu d'avatars et lorsque l'intensité de l'expression est grande (100 % dans ce cas-ci). Les données obtenues de la poursuite oculaire démontrent également que les participants balayaient du regard les stimuli virtuels et réels de la même façon. Ainsi, ils passaient un temps similaire à regarder les yeux des deux types de stimuli. Toutefois, une différence a pu être observée pour la zone d'intérêt de la bouche. Cette différence sera expliquée plus en profondeur lorsqu'il sera question des limites de l'étude. L'électromyographie a permis de quantifier l'activation musculaire du *corrugator supercilii* et du *zygomaticus major*. Les données recueillies grâce à cette technologie sont congruentes avec les résultats énoncés précédemment. En effet, aucune différence significative n'émerge entre la condition réelle et la condition virtuelle. Il est donc possible de conclure que les participants réagissaient de façon similaire face à la présentation des stimuli dynamiques réels et virtuels. Ainsi, l'expression des émotions universelles de ces avatars est assez fluide pour engendrer une reconnaissance semblable à celle

associée aux stimuli réels comme le démontrent les taux de reconnaissance, les pourcentages de temps passé sur les zones d'intérêt et les niveaux d'activation musculaire moyens.

Forces et limites de l'étude

Un échantillon restreint de participants a participé à cette expérimentation. Ainsi, un plus grand échantillon pourrait permettre l'obtention de données plus solides, mais aussi de faire des analyses statistiques plus complexes prenant en compte l'effet de différentes variables comme l'âge, l'exposition à la réalité virtuelle (p. ex., jeux vidéo), le genre et le niveau de scolarité pouvant avoir un effet sur la reconnaissance des expressions faciales. Il est donc nécessaire de poursuivre l'expérimentation afin d'obtenir un échantillon plus grand. Aussi, des différences propres à l'âge des participants selon le genre sont ressorties. En effet, le groupe d'hommes est significativement plus âgé que celui des femmes. Il sera donc nécessaire, pour la poursuite de l'expérimentation, de recruter des femmes plus âgées afin de faire diminuer cette différence et d'obtenir des groupes semblables relativement aux caractéristiques sociodémographiques de ceux-ci. Un effet plafond a pu être observé puisque les taux de reconnaissance sont particulièrement élevés. De tels taux peuvent s'expliquer par la durée considérable des vidéos (10 secondes). Toutefois, une présentation plus courte des stimuli n'aurait pas permis la cueillette de données relatives à la poursuite oculaire. Or, ce type de mesure permet d'obtenir des informations quant à la réaction des

participants face aux stimuli et permet une compréhension supplémentaire du phénomène à l'étude. Tel que mentionné précédemment, une différence significative entre le temps de fixation de la zone d'intérêt associée à la bouche entre la condition réelle et la condition virtuelle est ressortie. Les participants ont regardé plus longtemps la bouche des humains réels que celles des avatars. Lors de la transformation en vidéo des photographies du *Pictures of Facial Affect* (Ekman & Friesen, 1976), le personnage sur l'image neutre (aucune émotion exprimée, 0 %) avait parfois la bouche fermée alors que sur les images où le comédien exprimait une émotion (100 %), la bouche était ouverte. Ainsi, lors du morphisme, la transduction entre les deux images était moins fluide et réaliste. Cela a pu inciter les participants à regarder cette zone d'intérêt plus longuement et a créé la différence reportée dans la section des résultats. Aussi, certaines critiques quant à l'utilisation du morphisme peuvent être faites, notamment l'impossibilité de recréer la non-linéarité des mouvements faciaux et les différents décours temporels (p. ex., la peur est une expression dont l'apex apparaît rapidement alors que la tristesse est plus lente) en lien avec les différentes expressions faciales. Il importe également de mentionner une limite inhérente à l'ensemble d'avatars utilisé pour la présente expérimentation. Malgré leurs qualités indéniables, ceux-ci n'ont pas parfaitement l'apparence de vrais visages humains. Ainsi, l'affinement et le perfectionnement de ces avatars permettraient d'optimiser leur valeur écologique. Finalement, l'utilisation de l'électromyographie n'est pas parfaite. Les électrodes utilisées pour mesurer l'activation du *corrugator supercilii* et du *zygomaticus*

major avaient un diamètre de 7 millimètres. Toutefois, de plus petites électrodes auraient permis d'enregistrer des données sur un site plus circonscrit et de s'assurer que l'activation mesurée représentait réellement l'activation du muscle ciblé. Aussi, différents artéfacts, comme ceux de mouvements ou ceux relatifs à l'environnement, ont pu affecter et diminuer la qualité des données.

Toutefois, l'utilisation d'un emplacement bipolaire des électrodes a permis la soustraction des bruits communs et d'affiner les données recueillies. Une seconde force relative à l'expérimentation est l'utilisation exclusive de stimuli dynamiques. C'est d'ailleurs ce qui fait que cette étude est innovatrice. Lors de la recension des écrits scientifiques, une lacune était présente dans la plupart des recherches portant sur la reconnaissance des expressions faciales d'avatars. Aucune expérimentation élaborée n'avait présenté que des stimuli dynamiques. En effet, la plupart du temps, les chercheurs présentaient aux participants des avatars dynamiques suivis de photographies d'humains exprimant l'une des six émotions universelles. Les comparaisons entre les différentes conditions ne pouvaient donc pas être aussi significatives. De plus, ce sont les photographies du *Pictures of Facial Affect* (Ekman & Friesen, 1976), ensemble très validé par le passé, qui ont été utilisées dans la condition réelle afin de comparer les taux de reconnaissance obtenus à ceux de la condition virtuelle. De cette manière, il est possible d'effectuer de meilleures comparaisons et des conclusions plus étayées.

Il demeure essentiel de poursuivre cette expérimentation afin d'obtenir un nombre de participants plus important, mais aussi afin d'avoir un échantillon représentatif qui pourrait permettre de généraliser les résultats et d'effectuer la validation définitive du jeu d'avatars. En effet, il serait nécessaire de recruter davantage d'hommes ainsi que des participants plus âgés et provenant de milieux plus diversifiés dans le but de diminuer la proportion majoritaire de femmes ainsi que le nombre moyen d'années de scolarité particulièrement élevé mais aussi afin d'augmenter l'âge moyen de l'échantillon.

Retombées et perspectives pour les recherches futures

Les résultats énoncés précédemment sont préliminaires. Des analyses statistiques plus poussées permettront de mieux caractériser la reconnaissance des émotions et d'identifier s'il existe des différences plus fines entre les différents types de stimuli, mais aussi au sein de l'échantillon. Toutefois, les résultats confirment que le réalisme des avatars est suffisant pour que les émotions qu'ils expriment soient reconnues par des adultes issus de la population générale. Ce jeu de stimuli pourrait donc être utilisé à des fins d'investigation clinique, comme mesure de cognition sociale par exemple, et dans le cadre d'interfaces cerveau-machine où une rétroaction basée sur l'électromyographie (ou l'électroencéphalographie) serait offerte. Ainsi, des interfaces bidirectionnelles entre un humain et un ordinateur pourraient être créées à l'aide des avatars présentés dans cette étude. Cependant bien que les avatars soient réalistes, il est important de définir les interactions qu'il serait possible de créer avec ces humains virtuels. La conversation n'est pas le seul élément à considérer lors de la création d'une interface cerveau-machine. Il faut aussi prendre en compte la nécessité de peaufiner la biomécanique des avatars afin qu'ils puissent reproduire le plus fidèlement possible les mouvements des muscles, des tendons et des os du corps humain. Ces avatars doivent aussi être en mesure d'interagir en intégrant une dimension émotionnelle et psychosociale afin de caractériser avec plus de précision les sphères déficitaires de certaines psychopathologies particulièrement les populations présentant des troubles de la cognition sociale (Alessi &

Huang, 2000). Ainsi, il serait possible d'intégrer ces humains virtuels dans le diagnostic, mais aussi d'élaborer à partir de ceux-ci des programmes d'intervention et de rééducation spécifiques et adaptés aux différentes clientèles et aux différents patients.

Références générales

- Addington, J., McCleary, L., & Munroe-Blum, H. (1998). Relationship between cognitive and social dysfunction in schizophrenia. *Schizophrenia research*, 34(1), 59-66. [http://dx.doi.org/10.1016/S0920-9964\(98\)00079-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0920-9964(98)00079-6)
- Adolphs, R. (2002). Neural systems for recognizing emotion. *Current opinion in neurobiology*, 12(2), 169-177. [http://dx.doi.org/10.1016/S0959-4388\(02\)00301-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0959-4388(02)00301-X)
- Adolphs, R., Gosselin, F., Buchanan, T. W., Tranel, D., Schyns, P., & Damasio, A. R. (2005). A mechanism for impaired fear recognition after amygdala damage. *Nature*, 433(7021), 68-72. <http://dx.doi.org/10.1038/nature03086>
- Anckarsäter, H. (2006). Central nervous changes in social dysfunction: Autism, aggression, and psychopathy. *Brain research bulletin*, 69(3), 259-265. <http://dx.doi.org/10.1016/j.brainresbull.2006.01.008>
- Bänziger, T., Mortillaro, M., & Scherer, K. R. (2012). Introducing the Geneva Multimodal expression corpus for experimental research on emotion perception. *Emotion*, 12(5), 1161. <http://dx.doi.org/10.1037/a0025827>
- Barbeau, E., Joubert, S., & Felician, O. (2009). *Traitement et reconnaissance des visages: du percept à la personne*: Groupe de Boeck.
- Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Hill, J., Raste, Y., & Plumb, I. (2001). The "Reading the Mind in the Eyes" test revised version: A study with normal adults, and adults with Asperger syndrome or high-functioning autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 42(2), 241-251. <http://dx.doi.org/10.1111/1469-7610.00715>
- Beaupré, M. G., & Hess, U. (2005). Cross-cultural emotion recognition among Canadian ethnic groups. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 36(3), 355-370. <http://dx.doi.org/10.1177/0022022104273656>
- Bediou, B., Krolak-Salmon, P., Saoud, M., Henaff, M., Burt, M., Dalery, J., & D Amato, T. (2005). Facial expression and sex recognition in schizophrenia and depression. *Canadian journal of psychiatry*, 50(9), 525.
- Birbaumer, N., Murguialday, A. R., Weber, C., & Montoya, P. (2009). Neurofeedback and brain-computer interface: clinical applications. *International review of neurobiology*, 86, 107-117. [http://dx.doi.org/10.1016/S0074-7742\(09\)86008-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0074-7742(09)86008-X)
- Blair, R. (2003). Facial expressions, their communicatory functions and neuro-cognitive substrates. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B:*

Biological Sciences, 358(1431), 561-572.
<http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2002.1220>

- Boraston, Z., & Blakemore, S. J. (2007). The application of eye-tracking technology in the study of autism. *The Journal of Physiology*, 581(3), 893-898.
<http://dx.doi.org/10.1113/jphysiol.2007.133587>
- Cacioppo, J. T., Petty, R. E., Losch, M. E., & Kim, H. S. (1986). Electromyographic activity over facial muscle regions can differentiate the valence and intensity of affective reactions. *Journal of personality and social psychology*, 50(2), 260.
<http://dx.doi.org/10.1037/0022-3514.50.2.260>
- Calder, A. J. (1996). Facial emotion recognition after bilateral amygdala damage: Differentially severe impairment of fear. *Cognitive Neuropsychology*, 13(5), 699-745. <http://dx.doi.org/10.1080/026432996381890>
- Cigna, M. H., Guay, J.-P., & Renaud, P. (sous presse). La reconnaissance émotionnelle faciale: validation préliminaire de stimuli virtuels et comparaison avec les Pictures of Facial Affect. *Criminologie*.
- Constantino, J. N., Przybeck, T., Friesen, D., & Todd, R. D. (2000). Reciprocal social behavior in children with and without pervasive developmental disorders. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, 21(1), 2-11.
<http://dx.doi.org/10.1097/00004703-200002000-00001>
- Dalton, K. M., Nacewicz, B. M., Johnstone, T., Schaefer, H. S., Gernsbacher, M. A., Goldsmith, H., . . . Davidson, R. J. (2005). Gaze fixation and the neural circuitry of face processing in autism. *Nature neuroscience*, 8(4), 519-526.
<http://dx.doi.org/10.1038/nn1421>
- Dapretto, M., Davies, M. S., Pfeifer, J. H., Scott, A. A., Sigman, M., Bookheimer, S. Y., & Iacoboni, M. (2005). Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. *Nature neuroscience*, 9(1), 28-30. <http://dx.doi.org/10.1038/nn1611>
- Darwin, C. (1965). *The expression of the emotions in man and animals* (Vol. 526): University of Chicago press.
- de Gelder, B., van Honk, J., & Tamietto, M. (2011). Emotion in the brain: of low roads, high roads and roads less travelled. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(7), 425-425.
- Deeley, Q., Daly, E., Surguladze, S., Tunstall, N., Mezey, G., Beer, D., . . . Brammer, M. J. (2006). Facial emotion processing in criminal psychopathy : Preliminary

- functional magnetic resonance imaging study. *The British Journal of Psychiatry*, 189(6), 533-539. <http://dx.doi.org/10.1192/bjp.bp.106.021410>
- Dimberg, U., & Petterson, M. (2000). Facial reactions to happy and angry facial expressions: Evidence for right hemisphere dominance. *Psychophysiology*, 37(5), 693-696. <http://dx.doi.org/10.1017/S0048577200990759>
- Dimberg, U., Thunberg, M., & Grunedal, S. (2002). Facial reactions to emotional stimuli: Automatically controlled emotional responses. *Cognition & Emotion*, 16(4), 449-471. <http://dx.doi.org/10.1080/02699930143000356>
- Dolan, M., & Fullam, R. (2004). Theory of mind and mentalizing ability in antisocial personality disorders with and without psychopathy. *Psychological medicine*, 34(06), 1093-1102. <http://dx.doi.org/10.1017/S0033291704002028>
- Domes, G., Schulze, L., & Herpertz, S. C. (2009). Emotion recognition in borderline personality disorder-a review of the literature. *Journal of personality disorders*, 23(1), 6-19. <http://dx.doi.org/10.1521/pedi.2009.23.1.6>
- Dyck, M., Winbeck, M., Leiberg, S., Chen, Y., Gur, R. C., & Mathiak, K. (2008). Recognition profile of emotions in natural and virtual faces. *PloS one*, 3(11), e3628. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0003628>
- Dyck, M., Winbeck, M., Leiberg, S., Chen, Y., & Mathiak, K. (2010). Virtual faces as a tool to study emotion recognition deficits in schizophrenia. *Psychiatry research*, 179(3), 247-252. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psychres.2009.11.004>
- Ekman, P., & Friesen, W. V. (1976). Pictures of facial affect. *Consulting Psychologists*.
- Ekman, P., & Friesen, W. V. (1977). Facial action coding system.
- Ekman, P., & Friesen, W. V. (1981). The repertoire of nonverbal behavior: Categories, origins, usage, and coding. *Nonverbal communication, interaction, and gesture*, 57-106. <http://dx.doi.org/10.1515/semi.1969.1.1.49>
- Garau, M., Slater, M., Bee, S., & Sasse, M. A. (2001). *The impact of eye gaze on communication using humanoid avatars*. Communication présentée Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems.
- Garcia-Molina, G., Tsoneva, T., & Nijholt, A. (2013). Emotional brain-computer interfaces. *International journal of autonomous and adaptive communications systems*, 6(1), 9-25. <http://dx.doi.org/10.1504/IJAACS.2013.050687>

- Goeleven, E., De Raedt, R., Leyman, L., & Verschuere, B. (2008). The Karolinska directed emotional faces: a validation study. *Cognition and Emotion*, 22(6), 1094-1118. <http://dx.doi.org/10.1080/02699930701626582>
- Gosselin, P., Kirouac, G., & Doré, F. Y. (1995). Components and recognition of facial expression in the communication of emotion by actors. *Journal of personality and social psychology*, 68(1), 83. <http://dx.doi.org/10.1037/0022-3514.68.1.83>
- Haag, A., Goronzy, S., Schaich, P., & Williams, J. (2004). *Emotion recognition using bio-sensors: First steps towards an automatic system*. Communication présentée ADS.
- Hastings, M. E., Tangney, J. P., & Stuewig, J. (2008). Psychopathy and identification of facial expressions of emotion. *Personality and Individual Differences*, 44(7), 1474-1483. <http://dx.doi.org/10.1016/j.paid.2008.01.004>
- Hess, U., & Blairy, S. (2001). Facial mimicry and emotional contagion to dynamic emotional facial expressions and their influence on decoding accuracy. *International Journal of Psychophysiology*. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8760\(00\)00161-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8760(00)00161-6)
- Huang, J., Chan, R. C., Gollan, J. K., Liu, W., Ma, Z., Li, Z., & Gong, Q.-y. (2011). Perceptual bias of patients with schizophrenia in morphed facial expression. *Psychiatry research*, 185(1), 60-65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psychres.2010.05.017>
- Jack, R. E., Blais, C., Scheepers, C., Schyns, P. G., & Caldara, R. (2009). Cultural confusions show that facial expressions are not universal. *Current Biology*, 19(18), 1543-1548.
- Jack, R. E., Caldara, R., & Schyns, P. G. (2012). Internal representations reveal cultural diversity in expectations of facial expressions of emotion. *Journal of Experimental Psychology: General*, 141(1), 19.
- Jack, R. E., Garrod, O. G., Yu, H., Caldara, R., & Schyns, P. G. (2012). Facial expressions of emotion are not culturally universal. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(19), 7241-7244.
- Jayaram, N., Varambally, S., Behere, R., Venkatasubramanian, G., Arasappa, R., Christopher, R., & Gangadhar, B. (2013). Effect of yoga therapy on plasma oxytocin and facial emotion recognition deficits in patients of schizophrenia. *Indian Journal of Psychiatry*, 55(7), 409. <http://dx.doi.org/10.4103/0019-5545.116318>

- Kamachi, M., Bruce, V., Mukaida, S., Gyoba, J., Yoshikawa, S., & Akamatsu, S. (2001). Dynamic properties influence the perception of facial expressions. *Perception*, 30, 875-887. <http://dx.doi.org/10.1068/p3131n>
- Kaufmann, W. E., Cortell, R., Kau, A. S., Bukelis, I., Tierney, E., Gray, R. M., . . . Stanard, P. (2004). Autism spectrum disorder in fragile X syndrome: communication, social interaction, and specific behaviors. *American Journal of Medical Genetics Part A*, 129(3), 225-234. <http://dx.doi.org/10.1002/ajmg.a.30229>
- Kohler, C. G., Walker, J. B., Martin, E. A., Healey, K. M., & Moberg, P. J. (2009). Facial emotion perception in schizophrenia: a meta-analytic review. *Schizophrenia bulletin*, sbn192. <http://dx.doi.org/10.1093/schbul/sbn192>
- Krantz, P. J., & McClannahan, L. E. (1998). Social interaction skills for children with autism: A script-fading procedure for beginning readers. *Journal of applied behavior analysis*, 31(2), 191-202. <http://dx.doi.org/10.1901/jaba.1998.31-191>
- Krumhuber, E. G., Tamarit, L., Roesch, E. B., & Scherer, K. R. (2012). FACSGen 2.0 animation software: Generating three-dimensional FACS-valid facial expressions for emotion research. *Emotion*, 12(2), 351. <http://dx.doi.org/10.1037/a0026632>
- Labruyère, N., & Hubert, B. (2009). Traitement de l'information faciale dans l'autisme. *L'Evolution psychiatrique*, 74(1), 65-77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.evopsy.2008.12.008>
- Lakin, J. L., & Chartrand, T. L. (2003). Using nonconscious behavioral mimicry to create affiliation and rapport. *Psychological Science*, 14(4), 334-339.
- Langner, O., Dotsch, R., Bijlstra, G., Wigboldus, D. H., Hawk, S. T., & van Knippenberg, A. (2010). Presentation and validation of the Radboud Faces Database. *Cognition and Emotion*, 24(8), 1377-1388. <http://dx.doi.org/10.1080/02699930903485076>
- Larsen, J. T., Norris, C. J., & Cacioppo, J. T. (2003). Effects of positive and negative affect on electromyographic activity over zygomaticus major and corrugator supercilii. *Psychophysiology*, 40(5), 776-785. <http://dx.doi.org/10.1111/1469-8986.00078>
- Lindner, J. L., & Rosén, L. A. (2006). Decoding of emotion through facial expression, prosody and verbal content in children and adolescents with Asperger's syndrome. *Journal of autism and developmental disorders*, 36(6), 769-777. <http://dx.doi.org/10.1007/s10803-006-0105-2>

- Moser, E., Derntl, B., Robinson, S., Fink, B., Gur, R. C., & Grammer, K. (2007). Amygdala activation at 3T in response to human and avatar facial expressions of emotions. *Journal of Neuroscience Methods*, 161(1), 126-133. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jneumeth.2006.10.016>
- Mühlberger, A., Wieser, M. J., Herrmann, M. J., Weyers, P., Tröger, C., & Pauli, P. (2009). Early cortical processing of natural and artificial emotional faces differs between lower and higher socially anxious persons. *Journal of neural transmission*, 116(6), 735-746. <http://dx.doi.org/10.1007/s00702-008-0108-6>
- Pelphrey, K. A., Sasson, N. J., Reznick, J. S., Paul, G., Goldman, B. D., & Piven, J. (2002). Visual scanning of faces in autism. *Journal of autism and developmental disorders*, 32(4), 249-261. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1016374617369>
- Penn, D. L., Corrigan, P. W., Bentall, R. P., Racenstein, J., & Newman, L. (1997). Social cognition in schizophrenia. *Psychological bulletin*, 121(1), 114. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-2909.121.1.114>
- Pessoa, L., & Adolphs, R. (2010). Emotion processing and the amygdala: from a 'low road' to 'many roads' of evaluating biological significance. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(11), 773-783.
- Pighin, F., Hecker, J., Lischinski, D., Szeliski, R., & Salesin, D. H. (2006). *Synthesizing realistic facial expressions from photographs*. Communication présentée ACM SIGGRAPH 2006 Courses.
- Renaud, P., Joyal, C. C., Stoleru, S., Goyette, M., Weiskopf, N., & Birbaumer, N. (2011). Real-time functional magnetic imaging-brain-computer interface and virtual reality promising tools for the treatment of pedophilia. *Progress in Brain Research*, 192, 263-272. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-53355-5.00014-2>
- Rich, B. A., Grimley, M. E., Schmajuk, M., Blair, K. S., Blair, R., & Leibenluft, E. (2008). Face emotion labeling deficits in children with bipolar disorder and severe mood dysregulation. *Development and Psychopathology*, 20(02), 529-546. <http://dx.doi.org/10.1017/S0954579408000266>
- Rinn, W. E. (1984). The neuropsychology of facial expression: a review of the neurological and psychological mechanisms for producing facial expressions. *Psychological bulletin*, 95(1), 52. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-2909.95.1.52>
- Robin, M., Berthoz, S., Kedia, G., Dugre-Le Bigre, C., Curt, F., Speranza, M., . . . Corcos, M. (2011). *Apport du Multimorph à l'étude des processus de reconnaissance émotionnelle faciale (REF). Exemple de la personnalité*

borderline à l'adolescence. Communication présentée Annales Médico-psychologiques, revue psychiatrique.

- Roesch, E. B., Tamarit, L., Reveret, L., Grandjean, D., Sander, D., & Scherer, K. R. (2011). FACSGen: a tool to synthesize emotional facial expressions through systematic manipulation of facial action units. *Journal of Nonverbal Behavior*, 35(1), 1-16. <http://dx.doi.org/10.1007/s10919-010-0095-9>
- Rymarczyk, K., Biele, C., Grabowska, A., & Majczynski, H. (2011). EMG activity in response to static and dynamic facial expressions. *International Journal of Psychophysiology*, 79(2), 330-333. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2010.11.001>
- Samuelsson, H., Jarnvik, K., Henningsson, H., Andersson, J., & Carlbring, P. (2012). The Umeå university database of facial expressions: a validation study. *Journal of medical Internet research*, 14(5). <http://dx.doi.org/10.2196/jmir.2196>
- Sasson, N., Tsuchiya, N., Hurley, R., Couture, S. M., Penn, D. L., Adolphs, R., & Piven, J. (2007). Orienting to social stimuli differentiates social cognitive impairment in autism and schizophrenia. *Neuropsychologia*, 45(11), 2580-2588. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.03.009>
- Sato, W., Fujimura, T., & Suzuki, N. (2008). Enhanced facial EMG activity in response to dynamic facial expressions. *International Journal of Psychophysiology*, 70(1), 70-74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.06.001>
- Sato, W., & Yoshikawa, S. (2007). Spontaneous facial mimicry in response to dynamic facial expressions. *Cognition*, 104(1), 1-18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cognition.2006.05.001>
- Snowden, R. J., Craig, R., & Gray, N. S. (2013). Detection and recognition of emotional expressions: Effects of traits of personality disorder and gender. *Personality and Individual Differences*, 54(2), 158-163. <http://dx.doi.org/10.1016/j.paid.2012.08.007>
- Sprengelmeyer, R., Young, A. W., Calder, A. J., Karnat, A., Lange, H., Hömberg, V., . . . Rowland, D. (1996). Loss of disgust Perception of faces and emotions in Huntington's disease. *Brain*, 119(5), 1647-1665. <http://dx.doi.org/10.1093/brain/119.5.1647>
- Tottenham, N., Tanaka, J. W., Leon, A. C., McCarry, T., Nurse, M., Hare, T. A., . . . Nelson, C. (2009). The NimStim set of facial expressions: judgments from untrained research participants. *Psychiatry research*, 168(3), 242-249. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psychres.2008.05.006>

- Tracy, J. L., Robins, R. W., & Schriber, R. A. (2009). Development of a FACS-verified set of basic and self-conscious emotion expressions. *Emotion*, 9(4), 554. <http://dx.doi.org/10.1037/a0015766>
- Van Den Broek, E., Schut, M., Westerink, J., van Herk, J., & Tuinenbreijer, K. (2006). Computing emotion awareness through facial electromyography. *Computer Vision in Human-Computer Interaction*, 52-63. <http://dx.doi.org/10.1007/11754336-6>
- Van Der Schalk, J., Hawk, S. T., Fischer, A. H., & Doosje, B. (2011). Moving faces, looking places: validation of the Amsterdam Dynamic Facial Expression Set (ADFES). *Emotion*, 11(4), 907. <http://dx.doi.org/10.1037/a0023853>
- Walker-Smith, G. J., Gale, A. G., & Findlay, J. M. (1977). Eye movement strategies involved in face perception. *Perception*, 6(3), 313-326. <http://dx.doi.org/10.1068/p060313n>
- Wehmeier, P. M., Schacht, A., & Barkley, R. A. (2010). Social and emotional impairment in children and adolescents with ADHD and the impact on quality of life. *Journal of Adolescent Health*, 46(3), 209-217. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jadohealth.2009.09.009>
- Wehrle, T., Kaiser, S., Schmidt, S., & Scherer, K. R. (2000). Studying the dynamics of emotional expression using synthesized facial muscle movements. *Journal of personality and social psychology*, 78(1), 105. <http://dx.doi.org/10.1037/0022-3514.78.1.105>
- Weyers, P., Mühlberger, A., Hefe, C., & Pauli, P. (2006). Electromyographic responses to static and dynamic avatar emotional facial expressions. *Psychophysiology*, 43(5), 450-453. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8986.2006.00451.x>
- Weyers, P., Mühlberger, A., Kund, A., Hess, U., & Pauli, P. (2009). Modulation of facial reactions to avatar emotional faces by nonconscious competition priming. *Psychophysiology*, 46(2), 328-335. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00771.x>
- Widen, S. C., & Russell, J. A. (2013). Children's recognition of disgust in others. *Psychological bulletin*, 139(2), 271.
- Wing, L., & Gould, J. (1979). Severe impairments of social interaction and associated abnormalities in children: Epidemiology and classification. *Journal of autism and developmental disorders*, 9(1), 11-29. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01531288>

- Wolfkühler, W., Majorek, K., Tas, C., Küper, C., Saimed, N., Juckel, G., & Brüne, M. (2012). Emotion recognition in pictures of facial affect: Is there a difference between forensic and non-forensic patients with schizophrenia? *European journal of psychiatry*, 26(2), 73-85. <http://dx.doi.org/10.4321/S0213-61632012000200001>
- Zhu, X. L., Tan, S. P., De Yang, F., Sun, W., Song, C. S., Cui, J. F., . . . Tan, Y. L. (2013). Visual scanning of emotional faces in schizophrenia. *Neuroscience Letters*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neulet.2013.07.046>

Appendice

Normes de publication de la revue *Frontiers in Human Neuroscience*

Frontiers in Human Neuroscience

Author Guidelines

2. Manuscript Guidelines

Registration with Frontiers

Please note that the corresponding and all submitting authors MUST register (<https://www.frontiersin.org/Registration/Register.aspx>) with Frontiers before submitting an article. You must be logged in to your personal Frontiers Account to submit an article.

For any co-author who would like his/her name on the article abstract page and PDF to be linked to a Frontiers profile on the Loop network (<http://loop.frontiersin.org/about>), please ensure to register (<https://www.frontiersin.org/Registration/Register.aspx>) before the final publication of the paper.

Original Content

Frontiers publishes only original content. It therefore requires that all submissions must consist as far as possible of content that has not been published previously. In accordance with COPE guidelines (http://publicationethics.org/files/International_standards_authors_for_website_11_Nov_2011.pdf), we expect that "original wording taken directly from publications by other researchers should appear in quotation marks with the appropriate citations." This condition also applies to an author's own work, and to submissions adapted from conference abstracts and proceedings papers.

Article Type

Frontiers requires authors to carefully select the appropriate article type for their manuscript, and to comply to the article type descriptions defined in the journal's "Article Types", which can be seen from the "For Authors" menu on any Frontiers journal page. Please pay close attention to the word count limits. Focused Reviews, Frontiers Commentaries and Grand Challenge articles are invited by the chief editor and cannot be part of any Frontiers Research Topic. Unless you were contacted by the chief editor or the editorial office regarding the submission of a paper selected for tier 2 promotion, do not submit a Focused Review or a Frontiers Commentary - instead, submit a Review or a General Commentary.

Please see Additional Requirements for specific article types including Focused Reviews, General Commentaries, Protocols and Data Reports.

Manuscript Length

Frontiers encourages its authors to closely follow the article word count lengths given in the Summary Table. The manuscript length includes only the main body of the text, footnotes and all citations within it, and excludes abstract, section titles, figure and table

captions, and references in the bibliography. Please indicate the number of words and the number of figures included in your manuscript on the first page.

Language Style

Authors are requested to follow American English spelling. For any questions regarding style Frontiers recommends authors to consult the Chicago Manual of Style.

Title

The title is centered, and in 16 point bold Times New Roman font at the top of page. Except for special names (e.g., GABAergic), capitalize only the first letter of the title.

The title should be concise, omitting terms that are implicit and, where possible, be a statement of the main result or conclusion presented in the manuscript. Abbreviations should be avoided within the title.

Witty or creative titles are welcome, but only if relevant and within measure. Consider if a title meant to be thought-provoking might be misinterpreted as offensive or alarming. In extreme cases, the editorial office may veto a title and propose an alternative.

Authors should try to avoid, if possible:

- Titles that are a mere question without giving the answer.
- Unambitious titles, for example starting with "Towards", "A description of", "A characterization of", "Preliminary study on".
- Vague titles, for example starting with "Role of...", "Link between...", "Effect of..." that do not specify the role, link, or effect.
- Include terms that are out of place, for example the taxonomic affiliation apart from species name.

For Corrigenda, Book Reviews, General Commentaries and Editorials, the title of your manuscript should have the following format:

- "Corrigendum: Title of original article"
- "Book Review: Title of book"
- General Commentaries
 - "Commentary: Title of original article" (This does not apply to Frontiers Commentaries
(http://www.frontiersin.org/about/AuthorGuidelines#_ArticleType))
 - "Response to: Commentary: Title of original article"
- "Editorial: Title of Research Topic"

For article types requiring it, the running title should be a maximum of 5 words in length. (see Summary Table)

Authors and Affiliations

All names are listed together and separated by commas. Provide exact and correct author names as these will be indexed in official archives. Affiliations should be keyed to the author's name with superscript numbers and be listed as follows: Laboratory, Institute,

Department, Organization, City, State abbreviation (USA, Canada, Australia), and Country (without detailed address information such as city zip codes or street names).

Example: Max Maximus, Department of Excellence, International University of Science, New York, NY, USA.

The Corresponding Author should be marked with an asterisk. Provide the exact contact address (this time including street name and city zip code) and email of the corresponding author in a separate paragraph, as shown below:

Correspondence:

Dr. Max Maximus

International University of Science

Department of Excellence

Laboratory of High Impact

Street 2460,

New York, NY, 59066, USA

maximus@gmail.com (mailto:maximus@gmail.com)

If any authors wish to include a change of address, list the present address(es) below the correspondence details using a unique superscript symbol keyed to the author(s) in the author list.

Headings and Sub-headings

Except for special names (e.g. GABAergic), capitalize only the first letter of headings and subheadings. Headings and subheadings need to be defined in Times New Roman, 12, bold. You may insert up to 5 heading levels into your manuscript (not more than for example: 3.2.2.1.2 Heading title).

Abstract

As a primary goal, the abstract should render the general significance and conceptual advance of the work clearly accessible to a broad readership. In the abstract, minimize the use of abbreviations and do not cite references. The text of the abstract section should be in 12 point normal Times New Roman. See Summary Table for abstract requirement and length according to article type.

For Clinical Trial article types, please include the Unique Identifier and the URL of the publicly accessible website on which the trial is registered.

Keywords

All article types: you may provide up to 8 keywords; at least 5 are mandatory.

Text

The body text is in 12 point normal Times New Roman. New paragraphs will be separated with a single empty line. The entire document should be single-spaced and

should contain page and line numbers in order to facilitate the review process. Your manuscript should be written using either LaTeX or MS-Word.

Nomenclature

- The use of abbreviations should be kept to a minimum. Non-standard abbreviations should be avoided unless they appear at least four times, and defined upon first use in the main text. Consider also giving a list of non-standard abbreviations at the end, immediately before the Acknowledgments.
- Equations should be inserted in editable format from the equation editor.
- Gene symbols should be italicized; protein products are not italicized.
- Chemical compounds and biomolecules should be referred to using systematic nomenclature, preferably using the recommendations by IUPAC (<http://www.chem.qmul.ac.uk/iupac/>).
- We encourage the use of Standard International Units in all manuscripts.

Sections

Your manuscript is organized by headings and subheadings. For Original Research Articles, Clinical Trial Articles, and Technology Reports the section headings should be those appropriate for your field and the research itself.

For Original Research Articles, it is recommended to organize your manuscript in the following sections or their equivalents for your field:

1. **Introduction**

Succinct, with no subheadings.

2. **Material and Methods**

This section may be divided by subheadings. This section should contain sufficient detail so that when read in conjunction with cited references, all procedures can be repeated. For experiments reporting results on animal or human subject research, an ethics approval statement should be included in this section (for further information, see here)

3. **Results**

This section may be divided by subheadings. Footnotes should not be used and have to be transferred into the main text.

4. **Discussion**

This section may be divided by subheadings. Discussions should cover the key findings of the study: discuss any prior art related to the subject so to place the novelty of the discovery in the appropriate context; discuss the potential short-comings and limitations on their interpretations; discuss their integration into the current understanding of the problem and how this advances the current views; speculate on the future direction of the research and freely postulate theories that could be tested in the future.

For further information, please see Additional Requirements for specific article types including Focused Reviews, General Commentaries, Case Reports and Data Reports amongst others or you can check the descriptions defined in the journal's "Article Types", which can be seen from the "For Authors" menu on any Frontiers journal page.

Conflict of Interest Statement

Frontiers follows the recommendations by the International Committee of Medical Journal Editors (<http://www.icmje.org/recommendations/browse/roles-and-responsibilities/author-responsibilities--conflicts-of-interest.html>

(<http://www.icmje.org/recommendations/browse/roles-and-responsibilities/author-responsibilities--conflicts-of-interest.html>)) which require that all financial, commercial or other relationships that might be perceived by the academic community as representing a potential conflict of interest must be disclosed. If no such relationship exists, authors will be asked to declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest. When disclosing the potential conflict of interest, the authors need to address the following points:

- Did you or your institution at any time receive payment or services from a third party for any aspect of the submitted work?
- Please declare financial relationships with entities that could be perceived to influence, or that give the appearance of potentially influencing, what you wrote in the submitted work.
- Please declare patents and copyrights, whether pending, issued, licensed and/or receiving royalties relevant to the work.
- Please state other relationships or activities that readers could perceive to have influenced, or that give the appearance of potentially influencing, what you wrote in the submitted work.

Author and Contributors

When determining authorship the following criteria should be observed:

- Substantial contributions to the conception or design of the work; or the acquisition, analysis, or interpretation of data for the work; AND
- Drafting the work or revising it critically for important intellectual content; AND
- Final approval of the version to be published; AND
- Agreement to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Contributors who meet fewer than all 4 of the above criteria for authorship should not be listed as authors, but they should be acknowledged. (<http://www.icmje.org/recommendations/browse/roles-and-responsibilities/defining-the-role-of-authors-and-contributors.html>

(<http://www.icmje.org/recommendations/browse/roles-and-responsibilities/defining-the-role-of-authors-and-contributors.html>))

The statement about the authors and contributors can be up to several sentences long, describing the tasks of individual authors. Please list only 2 initials for each author, without periods, but separated by commas (e.g. JC, JS). In the case of two authors with the same initials, please use their middle initial to differentiate between them (e.g. REW, RSW). The Author Contributions section should be included at the end of the manuscript before the References.

Funding

Details of all funding sources should be provided, including grant numbers if applicable. Please ensure to add all necessary funding information, as after publication this is no longer possible.

Acknowledgments

This is a short text to acknowledge the contributions of specific colleagues, institutions, or agencies that aided the efforts of the authors.

References

All citations in the text, figures or tables must be in the reference list and vice-versa. The references should only include articles that are published or accepted. For accepted but unpublished works use "in press" instead of page numbers. Unpublished data, submitted manuscripts, or personal communications should be cited within the text only, for the article types that allow such inclusions. Personal communications should be documented by a letter of permission. Website urls should be included as footnotes. Any inclusion of verbatim text must be contained in quotation marks and clearly reference the original source.

The following formatting styles are meant as a guide, as long as the full citation is complete and clear, Frontiers referencing style will be applied during typesetting.

SCIENCE, ENGINEERING, and HUMANITIES: For articles submitted in the domains of SCIENCE, ENGINEERING and HUMANITIES please apply Author-Year system for in-text citations.

Reference list: provide the names of the first six authors followed by et al and doi (<http://www.crossref.org/guestquery/#textsearch>) when available.

In-text citations should be called according to the surname of the first author, followed by the year. For works by 2 authors include both surnames, followed by the year. For works by more than 2 authors include only the surname of the first author, followed by et al., followed by the year.

Article in a print journal:

Sondheimer, N., and Lindquist, S. (2000). Rnq1: an epigenetic modifier of protein function in yeast. *Mol. Cell.* 5, 163-172.

Article in an online journal:

Tahimic, C.G.T., Wang, Y., Bikle, D.D. (2013). Anabolic effects of IGF-1 signaling on the skeleton. *Front. Endocrinol.* 4:6. doi: 10.3389/fendo.2013.00006

Article or chapter in a book:

Sorenson, P. W., and Caprio, J. C. (1998). "Chemoreception," in *The Physiology of Fishes*, ed. D. H. Evans (Boca Raton, FL: CRC Press), 375- 405.

Book:

Cowan, W. M., Jessell, T. M., and Zipursky, S. L. (1997). *Molecular and Cellular Approaches to Neural Development*. New York: Oxford University Press.

Abstract:

Hendricks, J., Applebaum, R., and Kunkel, S. (2010). A world apart? Bridging the gap between theory and applied social gerontology. *Gerontologist* 50, 284-293. Abstract retrieved from Abstracts in Social Gerontology database. (Accession No. 50360869)

Patent:

Marshall, S. P. (2000). Method and apparatus for eye tracking and monitoring pupil dilation to evaluate cognitive activity. U.S. Patent No 6,090,051. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

For examples of citing other documents and general questions regarding reference style, please refer to the Chicago Manual of Style (<http://www.chicagomanualofstyle.org/home.html>).

Frontiers Science Endnote Style

(<http://www.frontiersin.org/Design/ens/Frontiers-Science.ens>)

Frontiers Science, Engineering and Humanities Bibstyle

(http://www.frontiersin.org/Design/bst/frontiersinSCNS_ENG_HUMS.bst)

HEALTH, PHYSICS AND MATHEMATICS: For articles submitted in the domain of HEALTH or the journal Frontiers in Physics and Frontiers in Applied Mathematics and Statistics please apply the Vancouver system for in-text citations.

Reference list: provide the names of the first six authors followed by et al and doi (<http://www.crossref.org/guestquery/#textsearch>) when available.

In-text citations should be numbered consecutively in order of appearance in the text – identified by Arabic numerals in the parenthesis for Health articles, and in square brackets for Physics articles.

Article in a print journal:

Sondheimer N, Lindquist S. Rnq1: an epigenetic modifier of protein function in yeast. *Mol Cell* (2000) 5:163-72.

Article in an online journal:

Tahimic CGT, Wang Y, Bikle DD. Anabolic effects of IGF-1 signaling on the skeleton. *Front Endocrinol* (2013) 4:6. doi: 10.3389/fendo.2013.00006

Article or chapter in a book:

Sorenson PW, Caprio JC. "Chemoreception,". In: Evans DH, editor. *The Physiology of Fishes*. Boca Raton, FL: CRC Press (1998). p. 375-405.

Book:

Cowan WM, Jessell TM, Zipursky SL. *Molecular and Cellular Approaches to Neural Development*. New York: Oxford University Press (1997). 345 p.

Abstract:

Christensen S, Oppacher F. An analysis of Koza's computational effort statistic for genetic programming. In: Foster JA, editor. *Genetic Programming*. EuroGP 2002: Proceedings of the 5th European Conference on Genetic Programming; 2002 Apr 3–5; Kinsdale, Ireland. Berlin: Springer (2002). p. 182–91.

Patent:

Pagedas AC, inventor; Ancel Surgical R&D Inc., assignee. Flexible Endoscopic Grasping and Cutting Device and Positioning Tool Assembly. United States patent US 20020103498 (2002).

For examples of citing other documents and general questions regarding reference style, please refer to Citing Medicine (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK7256/>).

Frontiers Health Endnote Style

(<http://www.frontiersin.org/Design/ens/Frontiers-Health.ens>)

Frontiers Health and Physics Bibstyle

(<http://www.frontiersin.org/Design/bst/frontiersinHLTH%26FPHY.bst>)

Supplementary Material

Frontiers journals do not support pushing important results and information into supplementary sections. However, data that are not of primary importance to the text, or which cannot be included in the article because it is too large or the current format does not permit it (such as movies, raw data traces, power point presentations, etc.) can be uploaded during the submission procedure and will be displayed along with the published article.

The Supplementary Material can be uploaded as Data Sheet (word, excel, csv, cdx, fasta, pdf or zip files), Presentation (power point, pdf or zip files), Supplementary Image (cdx, eps, jpeg, pdf, png or tif), Supplementary Table (word, excel, csv or pdf), Audio (mp3, wav or wma) or Video (avi, divx, flv, mov, mp4, mpeg, mpg or wmv).

Supplementary material is not typeset so please ensure that all information is clearly presented, the appropriate caption is included in the file and not in the manuscript, and that the style conforms to the rest of the article. For Supplementary Material templates (LaTeX and Word) see Supplementary Material for Frontiers (http://www.frontiersin.org/design/zip/Frontiers_Supplementary_Material.zip)

Word Files

If working with Word please use Frontiers Word (http://www.frontiersin.org/Design/zip/Frontiers_Word_Templates.zip).

LaTeX Files

If you wish to submit your article as LaTeX, we recommend our Frontiers LaTeX templates (http://www.frontiersin.org/design/zip/Frontiers_LaTeX_Templates.zip). These templates are meant as a guide, you are of course welcome to use any style or formatting and Frontiers journal style will be applied during typesetting.

In order to be able to upload more than one figure at a time or EPS figures, you will have to save the figures (labeled in order of appearance in the manuscript) in a zip file, and upload them as 'Presentation'. If you do so, please ensure that the figures appear at the end of the manuscript pdf by the time of submission.

3. Additional Requirements

CrossMark Policy

CrossMark (<http://www.crossref.org/crossmark/index.html>) is a multi-publisher initiative to provide a standard way for readers to locate the current version of a piece of content. By applying the CrossMark logo Frontiers is committing to maintaining the content it publishes and to alerting readers to changes if and when they occur. Clicking on the CrossMark logo will tell you the current status of a document and may also give you additional publication record information about the document.

Frontiers follows the COPE guidelines for retractions. For our procedure regarding corrections please see the section below. Corrigenda and errata are linked to the original article. Articles are only directly updated in case the correction affects the citation of the publication.

Corrections

If you need to communicate important changes to the article, please submit a General Commentary. If the error in the article was introduced or overlooked by one of the authors, submit the correction with the title "Corrigendum: Original Title of Article"; or, if the error was produced during the publishing process, an Erratum will be submitted.

Commentaries on Articles

For General Commentaries, the title of your manuscript must have the following format: "Commentary: Title of the original article". At the beginning of your Commentary, please provide the citation of the article commented on.

Rebuttals may be submitted in response to Commentaries; our limit in place is one commentary and one response. Rebuttals should be submitted as General Commentary articles and the title should have the following format: "Response to: Commentary: Title of the original article".

Focused Reviews

For Tier 2 invited Focused Reviews the sections Introduction, Material and Methods, Results, and Discussion are recommended. In addition the authors must submit a short biography of the corresponding author(s). This short biography has a maximum of 600 characters, including spaces.

A picture (5 x 5 cm, in *.tif or *.jpg, min 300 dpi) must be submitted along with the biography in the manuscript and separately during figure upload.

Focused Reviews highlight and explain key concepts of your work. Please highlight a minimum of four and a maximum of ten key concepts in bold in your manuscript and provide the definitions/explanations at the end of your manuscript under "Key Concepts". Each definition has a maximum of 400 characters, including spaces.

Data Reports

For Data Reports, please make sure to follow these additional specific guidelines.

1. The data sets (defined as a collection of data that contains individual data units organized in a standardized reusable format, including pre-processed or raw data) must be deposited in a public repository for long-term data preservation prior to submission of the Data Report. The data set(s) is to be fixed and made publicly available upon publication of the Data Report.

2. Our data sharing policy also requires that the dataset be made available to the Frontiers editors and reviewers during the review process of the manuscript. Prior to submission of your Data Report manuscript, please ensure that the repository you have selected supports confidential peer- review. If it does not, we recommend that the authors deposit the datasets to figshare or Dryad Digital Repository for the peer-review process. The data set(s) can then be transferred to another relevant repository before final publication, should the article be accepted for publication at Frontiers.

Note that it is the authors' responsibility to maintain the data sets after publication of the Data Report. Any published Frontiers Data Report article will be considered for retraction should the data be removed from the final selected repository after publication or the access become restricted.

3. The submitted manuscript must include the following details:

- Detailed cover letter (including a link to the data set)
- Name of the data set
- Name of the database/repository where the data set has been submitted
- Link to the data set for confidential peer-review (which can be updated after acceptance, prior to publication once the data is made public)

- Description of how the data was acquired, data collection period
- Filters applied to the data
- Overview of the data files and their formats
- Reference to and/or description of the protocols or methods used to collect the data
- Information on how readers may interpret the data set and reuse the data

All these elements will be peer-reviewed and are required for the publication of the Data Report.

Any future updates to the data set(s) should be deposited as independent versions in a repository and the relevant information may be published as General Commentaries linked on the Frontiers website to the initial Data Report.

Any detailed analyses or new scientific insights relating to the Data Report can be submitted as independent research articles which can also be linked on the Frontiers website to the Data Report article. The protocols and methodology used to collect the data can also be submitted as Methods articles.

Case Reports

For Case Reports the following sections are mandatory:

1. Introduction
Include symptoms at presentation, physical exams and lab results.
2. Background
This section may be divided by subheadings. Include history and review of similar cases.
3. Discussion
This section may be divided by subheadings. Include diagnosis and treatment.
4. Concluding
Remarks

Protocols

For Protocols articles, please make sure to follow these additional specific guidelines.

1. The submitted manuscript must include the following sections:
 - a. An Abstract
 - b. An Introduction outlining the protocol and summarizing its possible applications.
 - c. A Materials and Equipment section providing a list of reagents or other materials and/or equipment required to carry out the protocol. For basic-science protocols, the formulation of any solutions, e.g. buffers, should be clearly indicated in the Materials and Equipment section.
 - d. A Stepwise Procedures section listing, stepwise, the stages of the protocol. The timing of each step or related series of steps should be indicated, as should points at which it is possible to pause or halt the procedure without adversely influencing the outcome. For steps requiring repeated

- measurements, details of precision and accuracy should be presented. Limits of detection or quantification should also be stipulated where appropriate.
- e. An Anticipated Results section describing, and illustrating with figures, where possible, the expected outcome of the protocol. Any analytical software or methods should be presented in detail in this section, as should possible pitfalls and artifacts of the procedure and any troubleshooting measures to counteract them. These last may also be described in an optional Notes section.
 - f. Code or training data sets referenced by the protocol and useful in its execution should be hosted in an online repository; their accession numbers or other stable identifiers should be referenced in the Anticipated Results.
2. The following additional information should be presented in the cover letter accompanying your manuscript:
 - Significance of the protocol and references to any relevant primary research manuscript(s) in which it has been previously employed.
 - Any advance represented by the method compared with other, similar methods.
 - Appropriateness of the manuscript to the Specialty Section to which it has been submitted.
 - Associate Editors with suitable expertise to handle the manuscript.

Studies involving human subjects

Frontiers endorses the Helsinki declaration (<http://www.wma.net/en/30publications/10policies/b3/>) and the guidelines (<http://www.icmje.org/recommendations/browse/roles-and-responsibilities/protection-of-research-participants.html>) of the International Committee of Medical Journal Editors. Studies involving human participants must be performed in accordance with relevant institutional and national guidelines, with the appropriate institutional ethics committee's approval and informed written consent from all human subjects involved in the study. For manuscripts reporting studies involving human subjects, authors must clearly state the relevant ethics committee approving the study and confirm that study subjects have granted their written informed consent. Manuscripts reporting clinical trial data need to include the name of the public registry under which the clinical trial has been registered, and the number of the trial. For most article types, the information should appear in the Materials and Methods section.

For example: This study was carried out in accordance with the recommendations of 'name of guidelines, name of committee' with written informed consent from all subjects. All subjects gave written informed consent in accordance with the Declaration of Helsinki.

Should the study be exempt from this requirement, authors need to clearly state the reasons in the cover letter and manuscript. For incompetent patients (e.g. young children, unconscious patients) some form of consent, such as from family members, is needed.

Studies involving animal research

All experiments reporting results on animal research must be performed in accordance with relevant institutional and national guidelines and regulations. In the manuscript, authors must identify the full name of the ethics committee that approved the work. For most article types, this statement should appear in the Materials and Methods section.

For example: This study was carried out in accordance with the recommendations of 'name of guidelines, name of committee'. The protocol was approved by the 'name of committee'.

Should the study be exempt from this requirement, authors need to clearly state the reasons in the cover letter and manuscript.

Studies involving privately owned animals should demonstrate the best practice veterinary care and confirm that informed consent has been granted by the owner/s, or the legal representative of the owner/s.

Clinical Trial Registration

The World Health Organization (<http://www.who.int/ictrp/en>) defines clinical trial as "any research study that prospectively assigns human participants or groups of humans to one or more health-related interventions to evaluate the effects on health outcomes." In accordance with the Clinical Trial Registration Statement from the International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE) (<http://www.icmje.org>), all clinical trials must be registered in a public trials registry at or before the onset of participant enrollment. This requirement applies to all clinical trials that begin enrollment after July 1, 2005. To meet the requirements of the ICMJE, clinical trials can be registered with any Primary Registry in the WHO Registry Network (<http://www.who.int/ictrp/network/primary/en/index.html>) or an ICMJE approved registry (<http://www.icmje.org/about-icmje/faqs/clinical-trials-registration/>).

Clinical trial reports should be compliant with the Consolidated Standards of Reporting Trials (CONSORT) (<http://www.consort-statement.org/?o=1011>) both in terms of including a flow diagram presenting the enrollment, intervention allocation, follow-up, and data analysis with number of subjects for each and taking into account the CONSORT Checklist of items to include when reporting a randomized clinical trial.

The information on the clinical trial registration (Unique Identifier and URL) must be included in the abstract.

Inclusion of Proteomics Data

Authors should provide relevant information relating to how the peptide/protein matches were undertaken, including methods used to process and analyze data, false discovery rates (FDR) for large-scale studies and threshold or cut-off rates for peptide and protein matches. Further information could include software used, mass spectrometer type, sequence database and version, number of sequences in database, processing methods,

mass tolerances used for matching, variable/fixed modifications, allowable missed cleavages, etc.

Authors should provide as supplementary material information used to identify proteins and/or peptides. This should include information such as accession numbers, observed mass (m/z), charge, delta mass, matched mass, peptide/protein scores, peptide modification, miscleavages, peptide sequence, match rank, matched species (for cross species matching), number of peptide matches, ambiguous protein/peptide matches should be indicated, etc.

For quantitative proteomics analyses, authors should provide information to justify the statistical significance including biological replicates, statistical methods, estimates of uncertainty and the methods used for calculating error.

For peptide matches with biologically relevant post-translational modifications (PTM) and for any protein match that has occurred using a single mass spectrum, authors should include this information as raw data, annotated spectra or submit data to an online repository (recommended option).

Authors are encouraged to submit raw or matched data and 2-DE images to public proteomics repositories. Submission codes and/or links to data should be provided within the manuscript.

Inclusion of Zoological Nomenclature

The International Code of Zoological Nomenclature, in a recent 2012 amendment to the 1999 Zoological Code (<http://iczn.org/content/electronic-publication-made-available-amendment-code>) allows all electronic-only papers, such as those published by the Frontiers journals, to have valid new taxon names and nomenclatural acts. However, these new names or nomenclatural acts must be registered in ZOOBANK (<http://zoobank.org/>) and have associated Life Science Identifiers (LSIDs). Registration must be done by the authors before publication. Should your manuscript include any zoological new taxon names and/or nomenclatural acts, please ensure that they are registered prior to final publication.

Resource Identification Initiative

To take part in the Resource Identification Initiative, please cite antibodies, genetically modified organisms, software tools, data, databases and services using the corresponding catalog number and RRID in your current manuscript. For more information about the project and for steps on how to search for an RRID, please click here (http://www.frontiersin.org/files/pdf/letter_to_author.pdf).

Data Sharing

Frontiers supports the policy of data sharing, and authors are advised to make freely available any materials and information described in their article, and any data relevant to the article (while not compromising confidentiality in the context of human-subject research) that may be reasonably requested by others for the purpose of academic and

non-commercial research. In regards to deposition of data and data sharing through databases, Frontiers urges authors to comply with the current best practices within their discipline.

Crystallographic data for small molecules

Crystallographic data for small molecules should be submitted to the Cambridge Structural Database (<http://www.ccdc.cam.ac.uk/>) and the deposition number referenced appropriately in the manuscript. Upon publication full access must be provided.

Crystallographic data for large molecules (DNA, RNA, proteins, complexes) should be submitted to the Protein Data Bank (<http://www.rcsb.org/pdb/home/home.do>) and the deposition number referenced appropriately in the manuscript. Upon publication full access must be provided.

Cover Letter

When you submit your manuscript, you will be required to add a cover letter directed to the Editor.

Please indicate, in the first paragraph, the title of the manuscript, the article type, the Journal and specialty to which the manuscript is being submitted, and whether it is part of a Research Topic. You must also state that the manuscript has not been submitted for publication elsewhere; any closely related works submitted for consideration in other publications should be noted and you may be asked to provide a copy.

It is essential as well that you provide a short description of the significance of the manuscript. While Frontiers evaluates articles using objective criteria, rather than impact or novelty, your cover letter should frame the question(s) you have addressed in your work in the context of the current body of knowledge, providing evidence that the findings - whether positive or negative - contribute to progress in your research discipline. This will assist the Chief Editors to determine whether your manuscript fits within the scope of a specialty as defined in its mission statement; a detailed cover letter will also facilitate the identification of the Editors and Reviewers most appropriate to evaluate your work, ultimately expediting your manuscript's initial consideration.

4. Figure and Table Guidelines

General Style Guidelines for Figures

Frontiers requires figures to be submitted individually, in the same order as they are referred to in the manuscript. Figures will then be automatically embedded at the bottom of the submitted manuscript. Kindly ensure that each table and figure is mentioned in the text and in numerical order. Permission must be obtained for use of copyrighted material from other sources (including the web). Please note that it is compulsory to follow figure instructions. Figures which are not according to the guidelines will cause substantial delay during the production process. The numbers of figures and tables allowed are shown in the Summary Table. There must be a self-explanatory label (including units) along each axis within graphs.

Permissions need to be obtained for re-published/adapted/modified/partial figures, and it is the responsibility of the authors to acquire the licenses, to follow any citation instructions requested by third-party rights holders, and cover any supplementary charges.

General Style Guidelines for Tables

Tables should be inserted at the end of the manuscript. If you use a word processor, build your table in word. If you use a LaTeX processor, build your table in LaTeX. An empty line should be left before and after the table.

Please note that large tables covering several pages cannot be included in the final PDF for formatting reasons. These tables will be published as supplementary material on the online article abstract page at the time of acceptance. The author will be notified during the typesetting of the final article if this is the case. A link in the final PDF will direct to the online material.

Figure and Table Legends

Figure and table legends are required to have the same font as the main text (12 point normal Times New Roman, single spaced). Legends should be preceded by the appropriate label, for example "Figure 1" or "Table 4". Figure legends should be placed at the end of the manuscript (for supplementary images you must include the caption with the figure, uploaded as a separate file). Table legends must be placed immediately before the table. Please use only a single paragraph for the legend. Figure panels are referred to by bold capital letters in brackets: (A), (B), (C), (D), etc.

Image Size

Figure images should be prepared with the PDF layout in mind, individual figures should not be longer than one page and with a width that corresponds to 1 column or 2 columns.

All articles are prepared using the 2 column layout: 2 column articles can contain images 85 mm or 180 mm wide.

Format

The following formats are accepted: TIFF (.tif) TIFF files should be saved using LZW compression or any other non-lossy compression method. JPEG (.jpg) EPS (.eps) EPS files can be uploaded upon acceptance

Color Image Mode

Images must be submitted in the color mode RGB.

Resolution Requirements

All images must be uploaded separately in the submission procedure. For black and white line art the minimum resolution should be 900 dpi. For halftone figures (photographs), the resolution should be a minimum of 300 dpi. For any type of graph or

drawing in grayscale or combinations between line art and halftone, the resolution of your file should be a minimum of 600 dpi. Check the resolution of your figure by enlarging it to 150%. If the resolution is too low, the image will appear blurry, jagged or have a stair- stepped effect.

Chemical Structures

Chemical structures should be prepared using ChemDraw or a similar program according to the guidelines given below:

Drawing settings: chain angle, 120° bond spacing, 18% of width; fixed length, 14.4 pt; bold width, 2.0 pt; line width, 0.6 pt; margin width 1.6 pt; hash spacing 2.5 pt. Scale 100% Atom Label settings: font, Arial; size, 8 pt.

Assign all chemical compounds a bold, Arabic numeral in the order in which the compounds are presented in the manuscript text. Figures containing chemical structures should be submitted in a size appropriate for incorporation into the manuscript.

Legibility

Figures must be legible. Check the following:

- The smallest visible text is no less than 8 points in height, when viewed at actual size.
- Solid lines are not broken up.
- Image areas are not pixilated or stair stepped.
- Text is legible and of high quality.
- Any lines in the graphic are no smaller than 2 points width.